

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Inundações na Área Metropolitana de Lisboa:
danos humanos e materiais e componentes do risco**

Miguel Henrique Alfaia Leal

Orientadores: Prof. Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis
Prof.^a Doutora Maria Catarina de Melo Ramos

Tese especialmente elaborada para obtenção do grau de Doutor em Geografia,
especialidade de Geografia Física

2019



Inundações na Área Metropolitana de Lisboa:
danos humanos e materiais e componentes do risco

Miguel Henrique Alfaia Leal

Orientadores: Prof. Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis
Prof.^a Doutora Maria Catarina de Melo Ramos

Tese especialmente elaborada para obtenção do grau de Doutor em Geografia, especialidade de Geografia Física

Júri:

Presidente: José Luís Moreira Gonçalves da Silva Zêzere, Professor Catedrático e Membro do Conselho Científico do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Doutor Lúcio José Sobral da Cunha, Professor Catedrático
Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra;
- Doutor António Alberto Teixeira Gomes, Professor Auxiliar
Faculdade de Letras da Universidade do Porto;
- Doutor José Eduardo Silvério Ventura, Professor Auxiliar com Agregação
Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa;
- Doutora Ana Paula Ribeiro Ramos Pereira, Professora Catedrática
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa;
- Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis, Professor Auxiliar
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, orientador;
- Doutora Susana da Silva Pereira, Professora Auxiliar
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

Esta tese foi financiada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, integrando-se no âmbito da bolsa individual de doutoramento com a referência: SFRH/BD/96632/2013.

*No man ever steps in the same river twice,
for it's not the same river and he's not the same man.*

Heráclito

À Professora Catarina Ramos

AGRADECIMENTOS

Qualquer dissertação de doutoramento é um processo longo e um esforço solitário, que depende infinitamente mais do autor do que qualquer pessoa ou entidade. No decurso de um trabalho desta dimensão somam-se vitórias e derrotas, vivem-se períodos de alegria e entusiasmo, resistem-se a tristezas e frustrações, para que, no final, todo o esforço e dedicação valham a pena. Deste percurso fizeram parte muitas pessoas que partilharam comigo estas emoções. Algumas delas foram importantes, mesmo sem o saberem.

A nível institucional, gostaria de agradecer ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa (IGOT-ULisboa), enquanto instituição que confere o grau, e ao Centro de Estudos Geográficos (CEG), enquanto instituição de acolhimento.

Ao meu núcleo de investigação, o SLIF, pelo apoio científico e financeiro, fundamental na execução e divulgação do trabalho desenvolvido ao longo destes anos.

À Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), pelo financiamento desta investigação, essencial para a concretização desta dissertação.

À Associação Portuguesa de Seguradores (APS) pela cedência da sua base de dados relativa a inundações, algo que permitiu abordar estes fenómenos naturais sob uma perspectiva pouco ou nada explorada em Portugal.

Ao Professor Marcelo Fragoso, à Inês Portugal e à Susana Pereira, co-autores dos artigos científicos entretanto publicados e para os quais deram contribuições decisivas.

Ao Jorge Rocha e à Sandra Domingues pela valiosa ajuda na parte da cartografia.

Ao Eduardo Ascensão, pela oportunidade como bolseiro de investigação no projecto exPERTs e pela liberdade e tempo concedidos durante os últimos meses da dissertação de doutoramento.

Ao Jorge Trindade e à Professora Ana Ramos Pereira pela crença, apoio e disponibilidade constantes.

À Ana Louro, Ana Salomé David, André Torres, Anselmo Amílcar, Bruno Meneses, Diana Almeida, Eduardo Jonas, Inês Portugal, João Araújo Gomes, Maria Rita Nunes, Marina Carreiras, Paulo Madeira e Soraia Silva, colegas de doutoramento e companheiros de viagem, que melhor do que ninguém compreendem as dificuldades e os obstáculos do percurso.

À Diana e ao Marco que se mostraram sempre interessados no meu trabalho e em querer saber como estava a correr o doutoramento. Obrigado pela vossa amizade e desculpem-me as ausências e os dias em que o trabalho não permitiu combinarmos um jantar ou uma saída.

Aos meus pais, pelo apoio, ajuda e preocupação durante estes anos. Sem eles não teria sido possível ter chegado até aqui. Obrigado por me acompanharem neste percurso!

À Marina, pelo carinho, compreensão e paciência, por me apoiar e aguentar nos dias mais difíceis e por ficar genuinamente feliz com as minhas conquistas, vivendo-as como se fossem suas. Sem ela, esta viagem seria, por certo, mais difícil e solitária. Obrigado por não me deixares desistir, por acreditares sempre em mim e por partilhares o caminho comigo.

Ao Professor Eusébio Reis, por ter acedido a ser meu co-orientador numa fase inicial. Infelizmente, as circunstâncias obrigaram-no a assumir a minha orientação por inteiro já a mais de meio do percurso. Apesar do enorme volume de trabalho e das inúmeras tarefas que tinha em mãos, o Professor Eusébio aceitou esta tarefa sem hesitação. O seu conhecimento e espírito crítico, mas, sobretudo, a sua disponibilidade para ajudar contribuíram decisivamente para a melhoria desta dissertação. Obrigado por ter aceitado este desafio e por acreditar e confiar no meu trabalho.

Por fim, não posso deixar de conceder as últimas palavras a alguém que foi fundamental para que eu conseguisse concluir esta etapa. Durante este percurso perdemos a Professora Catarina Ramos, a minha orientadora durante grande parte desta dissertação. A Professora Catarina era uma inspiração para todos os que a conheciam. As suas palavras tornavam o mais complexo dos problemas na mais simples das soluções. Mesmo quando estava muito doente nunca recusou o seu papel de orientadora, acompanhando-me e mostrando-se sempre disponível, por vezes no limite das suas forças. Não lhe cheguei a agradecer tudo o que fez por mim, porque sempre acreditámos que o fim não estaria tão próximo. Guardarei para sempre os seus ensinamentos, os seus conselhos, a sua generosidade, a sua personalidade contagiante, a sua preocupação constante, a sua amizade. Sei que não o iria querer, mas é a ela que dedico esta dissertação. Obrigado por tudo!

ÍNDICE

Agradecimentos	VII
Índice de figuras	XV
Índice de tabelas	XXI
Lista de siglas e acrónimos	XXIV
Resumo	XXVI
Palavras-chave	XXVI
Abstract	XXVII
Keywords	XXVII
INTRODUÇÃO.....	1
Contexto e enquadramento da dissertação	1
Principais objectivos da investigação	3
Estrutura e organização da dissertação	4
Referências bibliográficas - Introdução.....	7
PARTE I ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA: TERRITÓRIO NATURAL E ACÇÃO HUMANA.....	9
Capítulo 1 Caracterização física e ocupação do solo na AML	11
1.1. Recolha e tratamento da informação	13
1.2. Caracterização física	17
1.2.1. Traços gerais.....	17
1.2.2. Enquadramento paleogeográfico e unidades morfoestruturais da AML.....	19
1.2.3. Rio e estuário do Tejo.....	20
1.2.4. AML Norte	22
1.2.5. AML Sul.....	25
1.2.6. Factores condicionantes permanentes das cheias/inundações.....	28
1.3. Ocupação do solo	34
1.3.1. Distribuição espacial e evolução temporal da ocupação do solo	34
1.3.2. Factores condicionantes variáveis das cheias/inundações	39
1.4. Edificado e população	41
Síntese do capítulo 1	48
Referências bibliográficas - capítulo 1.....	50

Capítulo 2 Precipitação como factor desencadeante das inundações na AML	55
2.1. Recolha e tratamento da informação	56
2.2. Características do clima português e influência na precipitação na aml	60
2.3. Precipitação anual e mensal.....	62
2.4. Precipitações intensas.....	65
2.5. Eventos extremos e a sua excepionalidade.....	71
Síntese do capítulo 2	77
Referências bibliográficas - capítulo 2.....	79
 PARTE II CHEIAS E INUNDAÇÕES URBANAS NA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA	83
 Capítulo 3 Tipos de inundações e fontes de informação.....	85
3.1. Cheias e inundações: conceitos e classificação.....	86
3.1.1. Cheias progressivas e cheias rápidas.....	86
3.1.2. Inundações urbanas	88
3.2. Fontes de informação e bases de dados	93
Síntese do capítulo 3	100
Referências bibliográficas - capítulo 3.....	102
 Capítulo 4 Danos humanos das cheias e inundações (1865-2010) na AML	109
4.1. Recolha e tratamento da informação	110
4.1.1. A precipitação como auxiliar	110
4.1.2. Base de dados DISASTER e procedimentos metodológicos	111
4.1.3. Associação entre tipo de inundação e ocorrências DISASTER	112
4.2. Danos humanos (DISASTER)	114
4.2.1. Resultados globais.....	114
4.2.2. Resultados por tipo de inundação.....	138
Síntese do capítulo 4	153
Referências bibliográficas - capítulo 4.....	155
 Capítulo 5 Danos materiais das cheias e inundações (2000-2011) na AML	157
5.1. Recolha e tratamento de informação	158
5.1.1. Dados de precipitação	158
5.1.2. Base de dados APS e procedimentos metodológicos	160
5.1.3. Ocupação do solo, edificado e população.....	163
5.1.4. Associação entre dados das seguradoras, precipitação, edificado e população	163

5.1.5. Associação entre tipos de inundações e sinistros APS.....	164
5.2. Danos materiais (APS)	167
5.2.1. Resultados globais.....	167
5.2.2. Resultados por tipo de inundação.....	203
Síntese do capítulo 5	216
Referências bibliográficas - capítulo 5.....	218
PARTE III CHEIAS RÁPIDAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DE BARCARENA	219
Capítulo 6 Componentes do risco e métodos de avaliação	221
6.1. Susceptibilidade	222
6.2. Perigosidade	223
6.2.1. Métodos hidrológico-hidráulicos	224
6.2.2. Métodos históricos.....	234
6.2.3. Métodos paleohidrológicos e hidrogeomorfológicos	235
6.2.4. Método de reconstituição hidrogeomorfológica	237
6.2.5. Factores que determinam a perigosidade às cheias rápidas	238
6.3. Exposição.....	240
6.4. Vulnerabilidade	241
6.4.1. Conceito e abrangência.....	241
6.4.2. Dimensões da vulnerabilidade e factores que a influenciam	243
6.4.3. Métodos de avaliação	245
6.5. Valor dos elementos expostos e danos.....	247
6.5.1. Valor dos elementos expostos	247
6.5.2. Tipos de danos.....	249
6.5.3. Metodologias de avaliação de danos e escalas de análise.....	249
6.6. Risco	251
Síntese do capítulo 6	253
Referências bibliográficas - capítulo 6.....	255
Capítulo 7 Caracterização geral e factores condicionantes das cheias rápidas na bacia de Barcarena	267
7.1. Recolha e tratamento da informação	269
7.2. Caracterização física e factores permanentes das cheias rápidas	272
7.2.1. Enquadramento e características hidrológicas	272
7.2.2. Geologia, litologia e geomorfologia	274

7.2.3. Solos	278
7.2.4. Relevo e rede de drenagem	279
7.2.5. Factores permanentes das cheias rápidas	284
7.3. Ocupação do solo - factores variáveis das cheias rápidas.....	287
Síntese do capítulo 7	291
Referências bibliográficas - capítulo 7.....	292
Capítulo 8 Susceptibilidade e perigosidade às cheias rápidas na bacia de Barcarena.....	295
8.1. Recolha e tratamento da informação	296
8.1.1. Avaliação da susceptibilidade	296
8.1.2. Avaliação da perigosidade.....	300
8.2. Susceptibilidade às cheias rápidas	316
8.3. Perigosidade às cheias rápidas.....	323
8.3.1. Caudais de ponta e hidrogramas de cheia	323
8.3.2. Áreas inundáveis, altura de água e velocidade do escoamento	333
8.3.3. Mapa da perigosidade	351
Síntese do capítulo 8	354
Referências bibliográficas - capítulo 8.....	356
Capítulo 9 Exposição, vulnerabilidade e danos potenciais das cheias rápidas na bacia de Barcarena	359
9.1. Recolha e tratamento da informação	360
9.1.1. Enquadramento e implicações dos conceitos na metodologia.....	360
9.1.2. Avaliação da exposição às cheias rápidas	360
9.1.3. Avaliação da vulnerabilidade estrutural às cheias rápidas	362
9.1.4. Avaliação do valor económico dos edifícios expostos e dos danos potenciais.....	369
9.2. Exposição às cheias rápidas.....	371
9.2.1. Ocupação do solo	371
9.2.2. Edifícios expostos	372
9.3. Vulnerabilidade às cheias rápidas	380
9.3.1. Vulnerabilidade intrínseca (VI)	380
9.3.2. Magnitude do processo natural (MPN).....	384
9.3.3. Índice de vulnerabilidade estrutural (IVE).....	390
9.4. Valor e danos potenciais	393
9.4.1. Valor económico (VE)	393
9.4.2. Danos potenciais (DP)	394

Síntese do capítulo 9	400
Referências bibliográficas - capítulo 9.....	402
CONCLUSÕES	405
Anexos	417

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Municípios da AML	12
Figura 1.2	Códigos postais da AML	12
Figura 1.3	Diagrama da textura do solo e os respectivos tipos hidrológicos de solos segundo a classificação do SCS	15
Figura 1.4	Altitude na AML	18
Figura 1.5	Geologia da AML	18
Figura 1.6	Bacias hidrográficas da AML	29
Figura 1.7	Declives da AML e das suas bacias hidrográficas	31
Figura 1.8	Litologia da AML e das suas bacias hidrográficas	32
Figura 1.9	Frequência (%) das litologias nas bacias hidrográficas da AML Norte e da AML Sul	32
Figura 1.10	Mapa de solos da AML e das suas bacias hidrográficas	33
Figura 1.11	Frequência (%) dos tipos de solos nas bacias hidrográficas da AML Norte e da AML Sul ..	33
Figura 1.12	Distribuição espacial dos tipos hidrológicos de solo nas bacias hidrográficas da AML Norte e da AML Sul	34
Figura 1.13	Frequência (%) das classes de ocupação do solo na AML em 2010	34
Figura 1.14	Distribuição espacial da ocupação do solo na AML em 2010	35
Figura 1.15	Frequência (%) de ocupação do solo nos municípios da AML em 2010	36
Figura 1.16	Evolução da ocupação do solo na AML entre 1990 e 2012	37
Figura 1.17	Distribuição espacial da ocupação do solo na AML em 1990 e 2012	38
Figura 1.18	Diferenças (%) nas áreas edificadas, nas áreas agrícolas e agro-florestais e nas áreas florestais e meios naturais e semi-naturais entre 1990 e 2012	39
Figura 1.19	Áreas edificadas (%) nas bacias hidrográficas da AML em 2010	40
Figura 1.20	Distribuição espacial do <i>curve number</i> nas bacias hidrográficas da AML Norte e da AML Sul	41
Figura 1.21	Edificado e população na AML: importância no contexto português, edifícios, alojamentos e habitantes a nível municipal em 2011	43
Figura 1.22	Evolução temporal dos edifícios e habitantes na AML e do número de habitantes na AML Norte e na AML Sul entre 1864 e 2011	45
Figura 1.23	Período de construção dos edifícios em Portugal, na AML Norte e na AML Sul e nos municípios da AML	46
Figura 1.24	Edifícios por número de pisos nos municípios da AML	47
Figura 2.1	Distribuição espacial das estações meteorológicas com dados anuais e mensais para períodos iguais ou superiores a 20 anos na AML	57
Figura 2.2	Distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas para caracterizar o evento extremo de precipitação de Fevereiro de 2008	59
Figura 2.3	Precipitação anual média na estação meteorológica de SJT entre 1938/1938 e 2011/2012	62

Figura 2.4	Precipitação anual média em 17 estações meteorológicas da AML e a relação com a altitude	64
Figura 2.5	Distribuição espacial da precipitação anual média na AML	64
Figura 2.6	Precipitações média, máxima média e mínima média nas estações meteorológicas da AML	65
Figura 2.7	Distribuição espacial da precipitação correspondente aos percentis 90, 95, 99 e ao valor máximo nas estações meteorológicas da AML com séries de dados diários iguais ou superiores a 30 anos	68
Figura 2.8	Precipitação diária máxima anual e número de dias com precipitação ≥ 40 mm na estação meteorológica de SJT	69
Figura 2.9	Número de dias com precipitação ≥ 40 mm nas estações meteorológicas da AML no período 1980/1981–1999/2000	70
Figura 2.10	Distribuição espacial das precipitações máximas registadas em 1h, 3h, 6h e 24h em várias estações meteorológicas durante o evento extremo de 2008	73
Figura 2.11	Distribuição espacial da precipitação máxima registada em 24 horas na AML durante o evento extremo de 2008	74
Figura 2.12	Curvas IDF para diferentes períodos de retorno e para os eventos extremos de 1967, 1983 e 2008 na estação meteorológica de SJT	75
Figura 3.1	Fotografias referentes a situações causadas por FREN e por FUNN em Lisboa	93
Figura 4.1	Censura nas notícias publicadas aquando da ocorrência do evento de 1967	112
Figura 4.2	Processo metodológico de determinação da localização e tipo de inundação de cada ocorrência DISASTER	113
Figura 4.3	Imagens do evento de 1967	115
Figura 4.4	Relação do número de afectados com a precipitação diária e com o número de ocorrências DISASTER em cada evento DISASTER na AML (1865-2010)	116
Figura 4.5	Número acumulado de eventos e ocorrências DISASTER na AML (1865-2010)	117
Figura 4.6	Precipitação diária máxima anual na estação de SJT e número de ocorrências DISASTER por ano hidrológico na AML (1938/39-2009/10)	117
Figura 4.7	Número de dias acima dos percentis 90 e 95 na estação de SJT e número de ocorrências DISASTER por ano hidrológico na AML (1955/1956-2009/10)	118
Figura 4.8	Número de eventos DISASTER, ocorrências DISASTER e ocorrências DISASTER sem eventos extremos por década na AML (1865-2010)	119
Figura 4.9	Número de mortes, evacuados e desalojados por década na AML (1865-2010)	122
Figura 4.10	Distribuição intra-anual dos eventos e ocorrências DISASTER e dos danos humanos na AML (1865-2010)	123
Figura 4.11	Distribuição espacial das ocorrências DISASTER na AML (1865-2010)	126
Figura 4.12	Número de ocorrências DISASTER em cada município da AML (1865-2010)	127
Figura 4.13	Distribuição espacial das ocorrências DISASTER na AML nos períodos 1865-1930, 1930-1970 e 1971-2010	130
Figura 4.14	Danos humanos por município (1865-2010): afectados, mortes e importância do evento de 1967 no total de mortes	132
Figura 4.15	Número de afectados por ocorrência DISASTER nos municípios da AML (1865-2010)	133
Figura 4.16	Número de ocorrências DISASTER e de ocorrências DISASTER/km ² nas bacias hidrográficas da AML (1865-2010)	134

Figura 4.17	Número de afectados e de afectados/km ² nas bacias hidrográficas da AML (1865-2010)	136
Figura 4.18	Número de mortes e de mortes/km ² nas bacias hidrográficas da AML (1865-2010)	137
Figura 4.19	Ocorrências DISASTER e danos humanos por tipo de inundação na AML (1865-2010)	138
Figura 4.20	Frequência anual acumulada de ocorrências DISASTER por tipo de inundação na AML (1865-2010)	139
Figura 4.21	Evolução das ocorrências DISASTER por tipo de inundação e por década na AML (1865-2010)	140
Figura 4.22	Linhas de tendência das ocorrências DISASTER (em %) de cada tipo de inundação por década na AML (1865-2010)	142
Figura 4.23	Linhas de tendência relativas às ocorrências DISASTER de cada tipo de inundação, com e sem eventos extremos, na AML (1865-2010)	142
Figura 4.24	Distribuição intra-anual das ocorrências DISASTER por tipo de inundação e a sua importância relativa em cada mês	143
Figura 4.25	Distribuição espacial das ocorrências DISASTER por tipo de inundação na AML (1865-2010)	145
Figura 4.26	Distribuição espacial das ocorrências DISASTER por tipo de inundação na AML nos períodos 1865-1930, 1930-1970 e 1971-2010	146
Figura 4.27	Distribuição (%) das ocorrências DISASTER resultantes dos vários tipos de inundações por município na AML (1865-2010)	149
Figura 4.28	Distribuição (%) dos afectados e das mortes resultantes dos vários tipos de inundações por município na AML (1865-2010)	150
Figura 4.29	Distribuição (%) das ocorrências DISASTER resultantes dos vários tipos de inundações por bacia hidrográfica na AML (1865-2010)	151
Figura 4.30	Distribuição espacial das ocorrências DISASTER resultantes dos vários tipos de inundações por bacia hidrográfica na AML (1865-2010)	151
Figura 5.1	Localização das estações meteorológicas utilizadas para validar os dados das seguradoras	159
Figura 5.2	Modelo APS e valores registados para a AML (2000-2011)	168
Figura 5.3	Número de sinistros APS e indemnizações por ano na AML (2000-2011)	170
Figura 5.4	Número de sinistros APS e indemnizações por mês na AML (2000-2011)	172
Figura 5.5	Evolução temporal dos sinistros APS e das indemnizações na AML (2000-2011) em valores absolutos e em valores relativos acumulados	173
Figura 5.6	Peso do evento de 2008 por classe de perdas na AML (2000-2011)	175
Figura 5.7	Percentis associados a indemnizações e a perdas na AML	175
Figura 5.8	Sinistros APS por município da AML (2000-2011)	176
Figura 5.9	Capital afectado em cada município da AML (2000-2011)	177
Figura 5.10	Indemnizações por município da AML (2000-2011)	179
Figura 5.11	Perdas por município da AML (2000-2011)	180
Figura 5.12	Relação entre a percentagem de áreas edificadas e o número de edifícios/km ² e o número de sinistros APS/km ² em cada município da AML (2000-2011)	182
Figura 5.13	Número de sinistros APS por código postal na AML (2000-2011)	184
Figura 5.14	Número de sinistros APS/km ² por código postal na AML (2000-2011)	185
Figura 5.15	Indemnizações (milhares de €) por código postal na AML (2000-2011)	186

Figura 5.16	Indemnizações/km ² (milhares de €) por código postal na AML (2000-2011)	187
Figura 5.17	Distribuição espacial dos sinistros APS na AML (2000-2011)	189
Figura 5.18	Distribuição espacial dos sectores/pontos críticos na AML (2000-2011)	191
Figura 5.19	Resultados referentes ao evento de 2008 para os municípios da AML	193
Figura 5.20	Distribuição espacial dos sinistros APS na AML no período 2000-2011 e no evento de 2008	195
Figura 5.21	Precipitação anual na estação de SJT e número de eventos APS na AML por ano hidrológico (2000/01-2010/11) e sua relação	196
Figura 5.22	Precipitação para 1, 3, 6, 12 e 24 horas na estação de SJT e número de sinistros APS em cada evento APS	198
Figura 5.23	Evolução temporal de quatro eventos de precipitação que causaram números diferentes de sinistros APS num raio de 10 km da estação de SJT	199
Figura 5.24	Níveis de propensão de ocorrência de inundações para a estação de SJT	199
Figura 5.25	Relação entre a precipitação registada em 24h e o número de sinistros APS/km ² edificado nos municípios da AML durante o evento de 2008	202
Figura 5.26	Importância relativa dos tipos de inundações em cada mês na AML (2000-2011)	205
Figura 5.27	Danos materiais por tipo de inundação na AML (2000-2011)	206
Figura 5.28	Sinistros APS por tipo de inundação nos municípios da AML (2000-2011)	209
Figura 5.29	Indemnizações por tipo de inundação nos municípios da AML (2000-2011)	209
Figura 5.30	Sinistros APS por tipo de inundação nas bacias hidrográficas da AML (2000-2011)	212
Figura 5.31	Indemnizações por tipo de inundação nas bacias hidrográficas da AML (2000-2011)	213
Figura 5.32	Distribuição espacial dos sinistros APS por tipo de inundação na AML (2000-2011)	215
Figura 6.1	Classificação dos modelos hidrológicos/hidráulicos	227
Figura 6.2	Tipos de modelos e a sua representação espacial	228
Figura 6.3	Representação das esferas da vulnerabilidade e da expansão do conceito	242
Figura 7.1	Bacia hidrográfica de Barcarena e seu enquadramento na AML	268
Figura 7.2	Bacia hidrográfica de Barcarena e os principais elementos da paisagem na AML Norte ..	273
Figura 7.3	Formações geológicas aflorantes na bacia de Barcarena e respectiva permeabilidade	276
Figura 7.4	Tipos de solos e tipos hidrológicos de solo na bacia de Barcarena	279
Figura 7.5	Altitude e declives na bacia de Barcarena	280
Figura 7.6	Hierarquia e inclinação do curso de água principal da bacia de Barcarena	282
Figura 7.7	Perfil longitudinal da ribeira de Barcarena	282
Figura 7.8	Frequência (%) das classes de ocupação do solo e de curve number na bacia de Barcarena	289
Figura 7.9	Ocupação do solo em 2010 e valores de <i>curve number</i> na bacia de Barcarena	289
Figura 7.10	Evolução da ocupação do solo na bacia de Barcarena entre 1990 e 2012	290
Figura 7.11	Ocupação do solo na bacia de Barcarena em 1990 e 2012	290
Figura 8.1	Esquemas conceptuais do modelo de avaliação de susceptibilidade à ocorrência de cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena	300
Figura 8.2	Esquema simplificado do submodelo de bacia hidrográfica implementado no <i>HEC-HMS</i>	303

Figura 8.3	Estação hidrométrica de Laveiras e canal fluvial à passagem pela localidade com o mesmo nome	308
Figura 8.4	Matriz de perigosidade às cheias rápidas	316
Figura 8.5	Processo de obtenção da perigosidade às cheias rápidas no troço modelado da bacia de Barcarena	316
Figura 8.6	Localização das ocorrências registadas na bacia de Barcarena	319
Figura 8.7	Histogramas dos valores de susceptibilidade às cheias para as linhas de água da bacia de Barcarena e respectiva classificação	320
Figura 8.8	Susceptibilidade às cheias das linhas de água na bacia de Barcarena	320
Figura 8.9	Hietogramas de projecto para um período de retorno de 100 anos com duração igual e dupla em relação ao tempo de concentração da bacia de Barcarena	324
Figura 8.10	Caudais de ponta de cheia para diferentes períodos de retorno obtidos para a bacia de Barcarena a partir de hietogramas de projecto com duração igual e dupla em relação ao tempo de concentração e em situações de AMC II e AMC III	325
Figura 8.11	Caudais de ponta de cheia na desembocadura da bacia de Barcarena para diversos períodos de retorno com recurso a métodos empíricos e ao <i>HEC-HMS</i>	326
Figura 8.12	Hidrogramas de cheia na desembocadura da bacia de Barcarena para vários períodos de retorno e para 100 anos com duração igual e dupla do tempo de concentração e AMC II e III	328
Figura 8.13	Confluências e sub-bacias da bacia de Barcarena	329
Figura 8.14	Área e caudal ao longo da bacia de Barcarena	332
Figura 8.15	Localização do troço em que foi efectuada a modelação hidráulica	334
Figura 8.16	Áreas inundáveis associadas a diferentes períodos de retorno no troço modelado da bacia hidrográfica de Barcarena	336
Figura 8.17	Detritos ao longo do troço modelado junto ao Lugar do Bico e à Universidade Atlântica.	337
Figura 8.18	Superfícies e acréscimos na extensão das áreas inundáveis em função do período de retorno	338
Figura 8.19	Alturas de água para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos	340
Figura 8.20	Velocidades de escoamento para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos	341
Figura 8.21	Valores médios e máximos de altura de água e de velocidade de escoamento por período de retorno	343
Figura 8.22	Confluência das ribeiras de Massamá e Barcarena vista de montante e de jusante	344
Figura 8.23	Localização dos valores máximos de altura de água e de velocidade de escoamento	346
Figura 8.24	Sapamento lateral das margens da ribeira de Massamá e de Barcarena nos troços em que se atingem as maiores velocidades de escoamento	346
Figura 8.25	Relação entre altura de água e velocidade de escoamento para uma amostra aleatória de pontos referentes aos períodos de retorno de 2 e 100 anos	349
Figura 8.26	Variação dos valores de velocidade de escoamento com o aumento da altura de água a partir de uma amostra aleatória de pontos para os períodos de retorno de 2 e 100 anos	349
Figura 8.27	Variação dos valores de altura de água com o aumento da velocidade de escoamento a partir de uma amostra aleatória de pontos para os períodos de retorno de 2 e 100 anos	349
Figura 8.28	Tipos de relações entre os valores de altura de água e de velocidade para diferentes períodos de retorno a partir de uma amostra aleatória de pontos	350

Figura 8.29	Variação da importância dos níveis de perigosidade por período de retorno no troço modelado da bacia de Barcarena	352
Figura 8.30	Perigosidade às cheias rápidas no troço modelado da bacia de Barcarena para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos	353
Figura 9.1	Modelo de avaliação da vulnerabilidade estrutural no sector estudado da bacia de Barcarena	364
Figura 9.2	Ocupação do solo nas áreas inundáveis para diferentes períodos de retorno em valores absolutos e relativos	372
Figura 9.3	Localização dos edifícios expostos na área de estudo considerando um evento com período de retorno de 100 anos	373
Figura 9.4	Áreas expostas às cheias rápidas no sector estudado da bacia de Barcarena	374
Figura 9.5	Confluência das ribeiras de Barcarena e de Massamá	374
Figura 9.6	Função dos edifícios expostos na área de estudo	376
Figura 9.7	Exposição temporal às cheias rápidas dos edifícios na área de estudo durante o período diurno dos dias úteis e dos fins-de-semana e feriados e durante o período nocturno	377
Figura 9.8	Localização dos edifícios expostos na área de estudo para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos	379
Figura 9.9	Edifícios de habitação no Lugar do Bico junto à ribeira de Barcarena	381
Figura 9.10	Vulnerabilidade intrínseca (VI) dos edifícios expostos na área de estudo	383
Figura 9.11	Edifício nº 24 e muro de protecção contra as cheias	385
Figura 9.12	Área industrial do Bico e posição do edifício nº 6	385
Figura 9.13	Magnitude do processo natural (MPN) na área de estudo nos eventos de cheia com períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos	389
Figura 9.14	Índice de vulnerabilidade estrutural (IVE) dos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos	392
Figura 9.15	Valor económico (VE) em € dos elementos expostos na área de estudo	394
Figura 9.16	Danos potenciais (DP) em € dos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos	397
Figura 9.17	Danos potenciais (DP) em €/m ² dos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos	399

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1	Informação cartográfica digital utilizada	13
Tabela 1.2	Parâmetros e fórmulas referentes aos factores condicionantes das cheias/inundações nas bacias hidrográficas da AML	15
Tabela 1.3	Valores do curve number (CN) segundo o Soil Conservation Service (SCS)	16
Tabela 1.4	Importância (%) das classes de altitude na AML	28
Tabela 1.5	Importância (%) das classes de declive na AML	28
Tabela 1.6	Bacias hidrográficas da AML e as respectivas áreas	29
Tabela 1.7	Indicadores referentes às características físicas das bacias hidrográficas da AML Norte e AML Sul	30
Tabela 1.8	Importância das classes de ocupação do solo na AML	35
Tabela 1.9	Valores do <i>curve number</i> para AMC II e AMC III nas bacias hidrográficas da AML Norte e da AML Sul	41
Tabela 1.10	Edifícios, alojamentos e habitantes nos municípios da AML em 2011	42
Tabela 1.11	Edifícios por número de pisos	47
Tabela 2.1	Características das estações meteorológicas com dados anuais e mensais para períodos iguais ou superiores a 20 anos na AML	57
Tabela 2.2	Valores de precipitação correspondentes aos percentis 90, 95 e 99 e ao máximo registado nas estações meteorológicas da AML com séries de dados diários iguais ou superiores a 30 anos	67
Tabela 2.3	Precipitações máximas registadas em 1, 3, 6 e 24 horas em várias estações meteorológicas durante o evento extremo de 2008	72
Tabela 2.4	Precipitações para diferentes períodos de retorno e para os eventos extremos de 1967, 1983 e 2008 na estação meteorológica de SJT	75
Tabela 4.1	Número de ocorrências DISASTER e danos humanos na AML e em Portugal continental (1865-2010)	114
Tabela 4.2	Danos humanos nos três eventos extremos de precipitação (1967, 1983 e 2008) na AML	114
Tabela 4.3	Número de eventos DISASTER por ano e número de ocorrências DISASTER, mortes e afectados por ano e por evento na AML	119
Tabela 4.4	Ocorrências DISASTER, mortes e afectados por tipo de inundação na AML (1865-2010)..	138
Tabela 5.1	Características das estações meteorológicas utilizadas para validar os dados das seguradoras	159
Tabela 5.2	Conceitos utilizados para a base de dados APS e respectivas definições	160
Tabela 5.3	Matriz de correlação entre ocupação do solo, edificado e dados das seguradoras para os municípios da AML no período 2000-2011	181
Tabela 5.4	Localização e número de sinistros APS registados nos sectores/pontos críticos na AML (2000-2011)	192
Tabela 5.5	Matriz de correlação entre ocupação do solo, edificado e dados das seguradoras para os municípios da AML no evento de 2008	194
Tabela 5.6	Matriz de correlação entre ocupação do solo, edificado e dados das seguradoras para os municípios da AML no período 2000-2011 sem o evento de 2008	194

Tabela 6.1	Custos de construção/reconstrução (m ²) estimados para os edifícios residenciais, comerciais e industriais em 2010	248
Tabela 7.1	Informação relativa aos dados recolhidos para a bacia hidrográfica de Barcarena	270
Tabela 7.2	Parâmetros e fórmulas referentes à geometria, rede de drenagem, relevo, substrato geológico e tempos de concentração e de resposta obtidos para a bacia hidrográfica de Barcarena	271
Tabela 7.3	Formações geológicas na bacia de Barcarena e respectiva permeabilidade	275
Tabela 7.4	Distribuição altitudinal na bacia de Barcarena	280
Tabela 7.5	Declives na bacia de Barcarena	280
Tabela 7.6	Sectores do curso de água principal da bacia de Barcarena	282
Tabela 7.7	Resultados dos indicadores referentes às características físicas da bacia hidrográfica de Barcarena	284
Tabela 8.1	Permeabilidades atribuídas às várias classes de ocupação do solo	298
Tabela 8.2	Parâmetros e fórmulas utilizados para a obtenção da velocidade do escoamento em diferentes secções do canal fluvial na bacia hidrográfica de Barcarena	306
Tabela 8.3	Características das secções definidas para a ribeira de Barcarena	306
Tabela 8.4	Coeficientes de rugosidade de Manning atribuídos ao uso/ocupação do solo na bacia de Barcarena	311
Tabela 8.5	Níveis de perigosidade às cheias rápidas	316
Tabela 8.6	Ocorrências de cheias por classe de susceptibilidade em função das diversas combinações e hipóteses testadas para a bacia de Barcarena	317
Tabela 8.7	Classes de susceptibilidade às cheias na bacia de Barcarena	320
Tabela 8.8	Valores de precipitação estimados para diferentes períodos de retorno e para uma duração igual à do tempo de concentração da bacia de Barcarena	323
Tabela 8.9	Caudais de ponta de cheia na desembocadura da bacia de Barcarena para diversos períodos de retorno com recurso a métodos empíricos e ao <i>HEC-HMS</i>	326
Tabela 8.10	Comparação entre os caudais de ponta de cheia obtidos (<i>HEC-HMS</i>) na desembocadura da bacia de Barcarena para diversos períodos de retorno e os apresentados em outras publicações	327
Tabela 8.11	Características e caudais obtidos nas sub-bacias da bacia hidrográfica de Barcarena	330
Tabela 8.12	Características e caudais obtidos nas confluências da bacia hidrográfica de Barcarena ...	330
Tabela 8.13	Áreas inundáveis no troço modelado da bacia de Barcarena por período de retorno	338
Tabela 8.14	Classes de altura de água e respectiva área (%) ocupada por período de retorno	343
Tabela 8.15	Classes de velocidade de escoamento e respectiva área (%) ocupada por período de retorno	343
Tabela 8.16	Importância dos níveis de perigosidade por período de retorno no troço modelado da bacia de Barcarena	352
Tabela 9.1	Exposição temporal dos edifícios na área de estudo consoante a sua função e o período do dia/semana	362
Tabela 9.2	Ocupação do solo nas áreas inundáveis para diferentes períodos de retorno	371
Tabela 9.3	Características geométricas, perímetro potencialmente exposto (PPE) e função dos edifícios expostos	376
Tabela 9.4	Síntese dos edifícios expostos na área de estudo para diferentes períodos de retorno ...	378

Tabela 9.5	Edifícios expostos na área de estudo em diferentes períodos de retorno	378
Tabela 9.6	Características dos edifícios expostos na área de estudo	383
Tabela 9.7	<i>Scores</i> atribuídos aos edifícios expostos na área de estudo e respectiva vulnerabilidade intrínseca (VI)	383
Tabela 9.8	Valores do escoamento referentes aos edifícios expostos na área para eventos de cheia com diferentes períodos de retorno	386
Tabela 9.9	<i>Scores</i> atribuídos aos edifícios expostos na área de estudo para diferentes períodos de retorno e valores de magnitude do processo natural (MPN)	386
Tabela 9.10	Índice de vulnerabilidade estrutural (IVE) dos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com diferentes períodos de retorno	390
Tabela 9.11	Valor económico (VE) em € dos edifícios expostos na área de estudo e resultados das variáveis utilizadas para a sua obtenção	394
Tabela 9.12	Danos potenciais (DP) em € nos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com diferentes períodos de retorno	396
Tabela 9.13	Danos potenciais (DP) em €/m ² nos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com diferentes períodos de retorno	396

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

AMC – *Antecedent Moisture Conditions* (condições antecedentes de humidade)

AML – Área Metropolitana de Lisboa

AMS – *American Meteorological Society*

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APAE – Associação Portuguesa dos Peritos Avaliadores de Engenharia

APS – Associação Portuguesa de Seguradores

ARH – Administração de Região Hidrográfica

CA – Coeficiente de afectação

CCR – Custo de construção/reconstrução

CIGeoE - Centro de Informação Geoespacial do Exército

CL – Coeficiente de localização

CLC – CORINE *Land Cover*

CMO – Câmara Municipal de Oeiras

CMS – Câmara Municipal de Sintra

CN – *Curve number* (número de escoamento)

COS – Carta de Uso e Ocupação do Solo

DGADR – Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural

DGT – Direcção-Geral do Território

DP – Danos potenciais

FAA – *Federal Aviation Administration*

FREN – Inundações relacionadas com a antiga rede de drenagem natural (acrónimo do inglês ***Flooding RElated to the ancient Natural drainage network***)

FUNN – Inundações não relacionadas com a actual ou antiga rede de drenagem natural (acrónimo do inglês ***Flooding UNrelated to the present or ancient Natural drainage network***)

HEC-HMS – *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modelling System*

HEC-RAS – *Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*

IDF – Intensidade-Duração-Frequência

IDW – *Inverse Distance Weighted* (Inverso do Peso da Distância)

IGIDL – Instituto Geofísico do Infante D. Luís

IH – Instituto Hidrográfico

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IVE – Índice de vulnerabilidade estrutural

LiDAR – *Light Detection and Ranging*

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo Digital de Terreno

MNE – Modelo Numérico de Elevação

MPN – Magnitude do processo natural

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

REN – Rede Ecológica Nacional

SCS – *Soil Conservation Service*

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SJT – São Julião do Tojal

SNIC – Sistema Nacional de Informação Cadastral

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SNPC – Serviço Nacional de Protecção Civil

SWF – *Surface water flooding*

Tc – Tempo de concentração

TIN – *Triangular Irregular Network* (Rede Irregular de Triângulos)

USACE – *US Army Corps of Engineers*

VE – Valor económico

VFX – Vila Franca de Xira

VI – Vulnerabilidade intrínseca

RESUMO

Esta dissertação tem como tema central as inundações na Área Metropolitana de Lisboa (AML), uma região afectada frequentemente por este tipo de fenómenos naturais. A elevada densidade populacional e do edificado tem-se traduzido, ao longo das últimas décadas, em elevados danos humanos e materiais causados por cheias progressivas, cheias rápidas e inundações urbanas. A posição geográfica, as características naturais das bacias hidrográficas, a extensão das áreas edificadas e a ocupação indevida de leitos de cheia favoreceram a maior concentração de ocorrências na AML Norte.

Os danos humanos causados por inundações foram avaliados com recurso à base de dados DISASTER. No período 1865-2010, registaram-se 131 eventos, 396 ocorrências, 544 mortes, 3428 evacuados, 5973 desalojados e 9945 pessoas afectadas na AML. Esta região registou 24% das ocorrências, 54% das mortes e 18% dos afectados em Portugal continental. Os eventos extremos de precipitação de 1967, 1983 e 2008 contabilizaram 26% das ocorrências, 86% das mortes e 51% dos afectados na AML. As cheias rápidas foram o tipo de inundações mais importante durante o período estudado (51% das ocorrências e 61% das mortes).

Os danos materiais, estimados a partir da base de dados da APS (Associação Portuguesa de Seguradores), mostraram um domínio das inundações urbanas no século XXI, quer estejam relacionadas (FREN) ou não (FUNN) com a rede de drenagem natural. No período 2000-2011, a AML registou 3676 sinistros e 13.410.434€ em indemnizações, 18% e 21% do total nacional, respectivamente. Os sinistros APS revelaram uma dependência notória relativamente às áreas edificadas e uma relação pouco significativa com a precipitação. Contudo, precipitações horárias superiores a 10,5 mm na estação de São Julião do Tojal originaram sempre pelo menos um sinistro APS num raio de 10 km. O evento de 2008 registou 24% do total de sinistros APS e 40% das indemnizações da AML. Durante este evento, a AML apresentou um comportamento mais natural, aumentando a importância dos sinistros APS ao longo dos fundos de vale (FREN). As FUNN foram mais frequentes na AML (59% dos sinistros APS), mas as FREN geraram maiores danos materiais (50% das indemnizações), confirmando o maior potencial destruidor, acentuado durante eventos com maior magnitude.

As componentes do risco foram avaliadas para a bacia hidrográfica de Barcarena. Apesar de algumas das características físicas não favorecerem o desenvolvimento de cheias rápidas, existe um importante historial de ocorrências e consequências. O troço que se inicia a montante da confluência entre as ribeiras de Massamá e de Barcarena e termina junto à Fábrica da Pólvora foi identificado como o mais crítico. Foram delimitadas as áreas inundáveis para diferentes períodos de retorno e estimadas as alturas de água e velocidades do escoamento através da modelação hidráulica. Foram identificados 26 edifícios expostos com funções habitacionais, industriais ou institucionais. A vulnerabilidade estrutural foi avaliada através de uma metodologia com base em indicadores relativos às características físicas dos edifícios (vulnerabilidade intrínseca) e à magnitude das cheias. O produto da vulnerabilidade estrutural pelo valor económico dos edifícios expostos resultou na estimativa dos danos potenciais para cada edifício, permitindo a quantificação do risco (potencial).

PALAVRAS-CHAVE: cheias rápidas; inundações urbanas; danos humanos e materiais; componentes do risco; Área Metropolitana de Lisboa.

ABSTRACT

Flooding in the Lisbon Metropolitan Area (LMA), a region frequently affected by this natural hazard, is the main theme of this thesis. In a territory with high population and building densities, there were high human and material damage caused by slow floods, flash floods and urban flooding during the last decades. The high concentration of occurrences in the Northern LMA was favoured by its geographic position, the natural features of its drainage basins, the extent of built-up areas and the inadequate occupation of the floodplains.

The human damage caused by flooding was assessed by the DISASTER database. During the 1865-2010 period, 131 events were recorded in the LMA, causing 396 occurrences, 544 casualties, 3428 evacuated, 5973 displaced and 9945 affected people. This region registered 24% of the occurrences, 54% of the casualties and 18% of the affected people in Portugal mainland. The extreme rainfall events of 1967, 1983 and 2008 totalized 26% of the occurrences, 86% of the casualties and 51% of the affected people in the LMA. Flash floods were the most important type of flooding during the studied period (51% of the occurrences and 61% of the casualties).

The material damage was estimated using the APS (Portuguese Association of Insurers) database. Regardless of whether it is related (FREN) or not (FUNN) to the natural drainage network, urban flooding has been the prevailing type of flooding during the 21st century. During the 2000-2011 period, 3676 claims and 13.410.434€ in payouts were recorded in the LMA, which corresponds to 18% and 21% of the national totals, respectively. The APS claims have revealed an evident dependence on built-up areas and a negligible relation with rainfall. However, hourly rainfall values higher than 10.5 mm have always caused at least one APS claim within a 10 km radius of the São Julião do Tojal rain gauge. The 2008 event represented 24% of the APS claims and 40% of the payouts registered in the LMA. During this event, this territory assumed a more natural behaviour, increasing the importance of the APS claims that occurred along the valley bottoms (FREN). FUNN was more frequent in the LMA (59% of the APS claims), but FREN caused higher material damage (50% of the payouts), confirming its greater destructive potential, which is accentuated during high-magnitude events.

The risk components were assessed for the Barcarena drainage basin. Despite some of its physical features do not favour the development of flash floods, there is an important history of occurrences and consequences. The most susceptible section starts upstream of the confluence of the Massamá and Barcarena streams and it ends near the Fábrica da Pólvora. Floodable areas were defined and flow depths and velocities were estimated to different return periods resorting to hydraulic modelling. There are 26 exposed buildings with residential, industrial or institutional functions. The structural vulnerability was assessed using an indicator-based methodology composed by some physical features of the buildings (intrinsic vulnerability) and the magnitude of the floods. By combining the structural vulnerability and economic value of the exposed buildings, it was possible to estimate the potential damage for each building, allowing the (potential) risk quantification.

KEYWORDS: Flash floods; urban flooding; human and material damage; risk components; Lisbon Metropolitan Area.

INTRODUÇÃO

CONTEXTO E ENQUADRAMENTO DA DISSERTAÇÃO

Os fenómenos naturais com consequências danosas representam uma temática de investigação cada vez mais aprofundada e a que a comunidade científica tem dedicado uma atenção crescente. Num quadro geral de alterações climáticas, espera-se que os fenómenos extremos ocorram com maior frequência e atinjam magnitudes mais elevadas (Botzen *et al.*, 2010). Segundo dados das Nações Unidas, entre 2000 e 2012, os desastres naturais afectaram 2,9 mil milhões de pessoas, causaram 1,2 milhões de mortes e geraram danos no valor de 1,7 biliões de dólares (USD) (UNISDR, 2013). De acordo com os dados da resseguradora Munich Re, em 2017 atingiu-se um novo máximo no que diz respeito aos custos das seguradoras com fenómenos naturais: 135 mil milhões de dólares. À medida que as sociedades se tornam mais desenvolvidas, os danos humanos tendem a diminuir, enquanto os danos materiais crescem (Jha *et al.*, 2012; Hoeppe, 2016).

Estima-se que 3 em cada 4 desastres naturais estejam relacionados com água, sendo as cheias/inundações as mais frequentes (Douben, 2006). Nas últimas décadas, as cheias/inundações representaram cerca de 1/3 das perdas causadas por fenómenos naturais na Europa (de Moel e Aerts, 2011) e os seus custos anuais médios atingiram 4,2 mil milhões de euros na União Europeia (Jongman *et al.*, 2014). Na região do Mediterrâneo, as cheias/inundações são consideradas o fenómeno natural mais relevante e um dos mais perigosos e destruidores (Gaume *et al.*, 2009; Llasat *et al.*, 2009, 2010; Camarasa-Belmonte e Soriano-García, 2012; Ruiz-Bellet *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2017), sendo igualmente o que causou o maior número de vítimas mortais e os danos materiais mais elevados (Barnolas e Llasat, 2007). Em Portugal, as cheias/inundações foram o fenómeno natural mais frequente e mortífero durante o século XX (Ramos e Reis, 2001).

A complexidade das cheias/inundações resulta da combinação entre as componentes meteorológica, hidrológica e antrópica (Llasat *et al.*, 2005). É a sua interacção que faz com que estes fenómenos naturais ocorram e que sejam capazes de gerar consequências mais ou menos gravosas. Na verdade, cada evento é único porque resulta de uma combinação entre as características da precipitação desencadeante e das áreas afectadas (Uhlenbrook *et al.*, 2002). Assim, não é apenas a intensidade e/ou duração da precipitação que explicam a ocorrência de uma cheia/inundação, pois há diversos factores que interferem na resposta de um determinado território a um evento de

precipitação. Por outro lado, a magnitude de um fenómeno pode resultar em danos muito distintos devido à presença de elementos expostos e à sua vulnerabilidade.

Como se verá com maior detalhe ao longo desta dissertação, existem diferentes tipos de cheias/inundações, com características e potenciais destruidores distintos. A prevalência de cheias progressivas, cheias rápidas ou inundações urbanas numa dada área é condicionada por diversos factores, entre os quais, as características físicas (geológicas, geomorfológicas e hidrológicas), a ocupação do solo (extensão e densidade das áreas edificadas/impermeabilizadas) e as decisões tomadas no âmbito do ordenamento do território (intervenções estruturais ou não estruturais nos cursos de água) (Smith e Ward, 1998). Isto significa que a importância de cada tipo de inundação no mesmo local pode variar ao longo do tempo ou que uma área que nunca tenha tido problemas relacionados com cheias ou inundações pode vir a tê-los devido à acção antrópica (exemplos: impermeabilização do solo ou canalização subterrânea de linhas de água).

De acordo com Barredo (2007), 40% das mortes provocadas por cheias/inundações ocorridas na Europa no período 1950-2005 deveram-se a cheias rápidas. A sua importância acentua-se no sul da Europa (Gaume *et al.*, 2009; Marchi *et al.*, 2010), onde os números ainda se tornam mais evidentes. Em Portugal, mais de 80% das mortes no período 1960-2010 foram provocadas por cheias rápidas (Pereira *et al.*, 2017). De facto, de todas as inundações desencadeadas por precipitação, as cheias rápidas são as que possuem maior capacidade destruidora, não só pela elevada velocidade que atingem e pela quantidade de carga sólida que são capazes de arrastar, mas também pelo curto espaço de tempo que decorre entre a precipitação e o caudal de ponta de cheia. Por outro lado, espera-se um incremento crescente na frequência, magnitude e danos provocados pelas inundações urbanas devido à expansão das áreas edificadas, à impermeabilização dos terrenos e às alterações climáticas (Pitt, 2008; Falconer *et al.*, 2009; Suriya *et al.*, 2012; Huong e Pathirana, 2013; Hammond *et al.*, 2015; Grahn e Nyberg, 2017). Assim, as cheias rápidas e as inundações urbanas são as que geram maior preocupação na região do Mediterrâneo.

Em Portugal a sociedade tende a esquecer a ocorrência de fenómenos naturais, excepto nos dias em que estes acontecem e nos seguintes, em que todos apontam responsabilidades e concluem a necessidade de tomar medidas futuras. Rapidamente o assunto cai no esquecimento, até ocorrer de novo algo semelhante. Neste contexto, a entrada em vigor da Directiva Europeia 2007/60/CE, mais tarde transposta para a realidade portuguesa pelo Decreto-Lei nº 115/2010 de 22 de Outubro, veio mudar um pouco o paradigma no caso das cheias e inundações. Esta lei tornou obrigatória a avaliação e elaboração de mapas de risco de inundações e de planos de gestão de risco por parte das Administrações de Regiões Hidrográficas (ARH) e das Câmaras Municipais.

Esta maior consciencialização do risco ligada às cheias e inundações é muito relevante para a Área Metropolitana de Lisboa (AML), que possui um longo e trágico historial de consequências

causadas por estes fenómenos naturais. À semelhança do que sucede para a AML no contexto português, também se verificam elevadas concentrações espaciais de danos humanos e/ou materiais nas áreas metropolitanas de outros países (Pereira *et al.*, 2017). Ainda assim, a AML tem mudado muito nos mais variados contextos ao longo das últimas décadas e, actualmente, esta região já não é a mesma de há meio século, quando ocorreu a maior catástrofe natural em Portugal desde o sismo de 1755.

PRINCIPAIS OBJECTIVOS DA INVESTIGAÇÃO

O objectivo essencial desta dissertação passa por determinar a importância dos diferentes tipos de inundações e quais as áreas mais afectadas por estes fenómenos naturais na AML. Pretende-se analisar a realidade das inundações nesta região a diferentes escalas, algo que obriga a uma adaptação tanto dos dados utilizados, como dos métodos de análise. Assim, procura-se estabelecer uma diferenciação espacial à escala da AML, à escala de uma bacia hidrográfica (Barcarena) e à escala local ou microescala, definindo qual a informação e quais as metodologias mais adequadas para cada uma delas.

A escolha da AML enquanto área de estudo principal e que serve de base a toda a investigação prende-se com a sua diversidade no que respeita às características físicas e da ocupação do solo, a sua elevada exposição às inundações, resultante do facto ser a região com maior densidade populacional e do edificado do País, e o seu importante historial ligado às cheias e inundações. Quanto à opção pela bacia hidrográfica de Barcarena, foi tomada pelos resultados obtidos no contexto da AML e pelos factores condicionantes naturais e antrópicos às cheias rápidas. O destaque para as cheias rápidas está relacionado com o seu potencial destruidor e pelas frequentes ocorrências registadas na bacia de Barcarena nas últimas dezenas de anos.

Foram ainda estabelecidos cinco objectivos específicos:

- 1) Caracterizar a AML do ponto de vista físico, humano e da ocupação do solo, compreendendo os padrões espaciais e temporais dos factores condicionantes e desencadeantes das cheias e inundações;
- 2) Discutir e explorar os conceitos e metodologias utilizados no âmbito dos tipos de inundações que afectam a AML e das componentes do risco, assim como demonstrar a relevância das fontes de informação e bases de dados na estimativa dos danos;
- 3) Quantificar os danos humanos e materiais resultantes das cheias e inundações na AML e compreender como a expansão urbana e as opções de ordenamento do território influenciaram a distribuição espacial e a evolução temporal dos vários tipos de inundações e dos respectivos danos;

4) Analisar os factores condicionantes das cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena e identificar os troços mais susceptíveis, estimando também os caudais de ponta de cheia para diversos períodos de retorno;

5) Avaliar as componentes do risco de cheias rápidas num sector crítico da bacia de Barcarena, nomeadamente a perigosidade, exposição, vulnerabilidade, valor económico dos elementos expostos e danos potenciais.

ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A estrutura desta dissertação foi pensada numa lógica de continuidade, mas, ao mesmo tempo, para que os capítulos funcionassem de forma individual. Deste modo, existe sempre uma pequena introdução e um subponto referente à recolha e tratamento da informação no início de cada capítulo, para além de uma síntese, conclusões e referências bibliográficas no final.

A presente tese encontra-se organizada em nove capítulos repartidos por três partes. A parte I centra-se no território da Área Metropolitana de Lisboa e contém os capítulos 1 e 2. A parte II destina-se à análise dos danos humanos e materiais resultantes de cheias e inundações, incluindo os capítulos 3, 4 e 5. A parte III aborda as componentes do risco de cheias rápidas e é composta pelos capítulos 6, 7, 8 e 9.

O capítulo 1 consiste numa apresentação da AML, avaliando os factores condicionantes das cheias e inundações. Em primeiro lugar, é feita uma descrição sumária da evolução paleogeográfica da área de estudo nos últimos 200 milhões de anos e das suas actuais características litológicas, geomorfológicas e hidrológicas. Numa segunda fase, é apresentada uma análise espacial e temporal da ocupação do solo da AML. Para terminar, procede-se à caracterização do edificado e da população e à sua evolução ao longo das últimas décadas.

O capítulo 2 centra-se na precipitação enquanto factor desencadeante de cheias e inundações na AML. São analisadas as precipitações intensas e abundantes ocorridas numa rede de estações meteorológicas, atribuindo especial importância aos eventos extremos que afectaram esta região nas últimas dezenas de anos. As diferenças espaciais verificadas nos valores médios e nas precipitações de maior magnitude são igualmente contempladas.

O capítulo 3 representa o primeiro capítulo marcadamente teórico desta dissertação. Aqui discutem-se as questões teóricas e metodológicas relacionadas com os tipos de inundações desencadeadas por precipitação. São debatidos os conceitos, a abrangência de cada um deles e as limitações ainda existentes, especialmente no que diz respeito às inundações urbanas. Para além destes temas, são abordadas as fontes de informação e as bases de dados ligadas aos fenómenos

naturais. Estes assuntos representam os fundamentos que servem de suporte aos dois capítulos seguintes.

Os danos humanos resultantes de cheias e inundações na AML são analisados no capítulo 4. Através da base de dados DISASTER, produzida a partir de notícias de jornais, são contabilizados as mortes, evacuados e desalojados provocados por estes fenómenos naturais durante o período 1865-2010. Com recurso a esta base de dados é igualmente possível avaliar a repartição espacial e a evolução temporal dos danos humanos na AML, tal como a importância dos diferentes tipos de inundações.

O capítulo 5 aborda a mesma temática do capítulo anterior, mas sob o ponto de vista dos danos materiais causados por cheias e inundações na AML. Para isso recorre-se à base de dados da Associação Portuguesa de Seguradores (APS) para o período 2000-2011. Procura-se analisar a distribuição espacial destes fenómenos naturais através dos sinistros comunicados às companhias de seguros e quantificar os danos materiais através das indemnizações pagas pelas mesmas. Tal como sucede para os danos humanos, os danos materiais são também avaliados em função dos diferentes tipos de inundações.

O capítulo 6 dá início à terceira parte da tese. Este constitui o segundo capítulo teórico da dissertação e aborda o risco de cheias rápidas e as suas componentes: susceptibilidade, perigosidade, exposição, vulnerabilidade, valor dos elementos expostos e danos. Aqui são debatidos as definições e os conceitos referentes a cada uma das componentes, nem sempre consensuais junto da comunidade científica, tratando igualmente as suas várias perspectivas, abordagens e metodologias. Note-se que a partir deste capítulo a atenção centra-se exclusivamente nas cheias rápidas.

Tendo em conta a especificidade deste tipo de inundação e os objectivos propostos, do capítulo 7 em diante abandona-se a escala da AML e adoptam-se escalas de maior pormenor. Este capítulo procura efectuar uma caracterização física e da ocupação do solo da bacia hidrográfica de Barcarena, algo indispensável antes de se proceder à avaliação das componentes do risco de cheias rápidas, que acontecerá nos capítulos seguintes. No fundo, importa conhecer os factores condicionantes das cheias rápidas, aferir a importância de cada um deles e avaliar a predisposição natural e antrópica da bacia para ser afectada por estes fenómenos naturais.

O capítulo 8 pretende efectuar uma avaliação da susceptibilidade às cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena, identificando quais as linhas de água e os troços mais susceptíveis. Por outro lado, e dada a quase inexistência de dados hidrométricos, é necessário estimar os caudais de ponta de cheia para diversos períodos de retorno através de dados de precipitação e da modelação hidrológica da bacia. Os resultados obtidos possibilitam a definição de um troço problemático da bacia no binómio susceptibilidade-exposição, onde é aplicada a modelação hidráulica para avaliar a

perigosidade às cheias rápidas. Refira-se que a avaliação da perigosidade implica uma nova alteração de escala, passando da escala da bacia para a escala local ou microescala.

O capítulo 9 procura, numa primeira fase, identificar os edifícios expostos às cheias rápidas no mesmo sector da bacia de Barcarena e caracterizar o seu grau de exposição consoante o dia da semana e o momento do dia em que ocorra um evento de cheia. Pretende-se também determinar a vulnerabilidade estrutural dos edifícios expostos através da selecção e combinação das variáveis mais importantes neste contexto geográfico e para o fenómeno natural estudado. Esta análise considera, por isso, tanto as características físicas dos edifícios, como a magnitude do processo natural em vários períodos de retorno. Neste último capítulo, foram ainda estimados o valor económico dos edifícios expostos e os danos potenciais em resultado de cheias rápidas com diferentes recorrências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - INTRODUÇÃO

- Barnolas, M., Llasat, M.C., 2007. A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 7, 271–281. doi:10.5194/nhess-7-271-2007
- Barredo, J.I., 2007. Major flood disasters in Europe: 1950-2005. *Nat. Hazards* 42, 125–148. doi:10.1007/s11069-006-9065-2
- Botzen, W.J.W., van den Bergh, J.C.J.M., Bouwer, L.M., 2010. Climate change and increased risk for the insurance sector: A global perspective and an assessment for the Netherlands. *Nat. Hazards* 52, 577–598. doi:10.1007/s11069-009-9404-1
- Camarasa-Belmonte, A.M., Soriano-García, J., 2012. Flood risk assessment and mapping in peri-urban Mediterranean environments using hydrogeomorphology. Application to ephemeral streams in the Valencia region (eastern Spain). *Landsc. Urban Plan.* 104, 189–200. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.10.009
- de Moel, H., Aerts, J.C.J.H., 2011. Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. *Nat. Hazards* 58, 407–425. doi:10.1007/s11069-010-9675-6
- Douben, K.J., 2006. Characteristics of river floods and flooding: A global overview, 1985-2003. *Irrig. Drain.* 55, 9–21. doi:10.1002/ird.239
- Falconer, R.H., Cobby, D., Smyth, P., Astle, G., Dent, J., Golding, B., 2009. Pluvial flooding: New approaches in flood warning, mapping and risk management. *J. Flood Risk Manag.* 2, 198–208. doi:10.1111/j.1753-318X.2009.01034.x
- Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D., Stancalie, G., Szolgay, J., Tsanis, I., Velasco, D., Viglione, A., 2009. A compilation of data on European flash floods. *J. Hydrol.* 367, 70–78. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.12.028
- Grahn, T., Nyberg, L., 2017. Assessment of pluvial flood exposure and vulnerability of residential areas. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 21, 367–375. doi:10.1016/j.ijdrr.2017.01.016
- Hammond, M.J., Chen, A.S., Djordjević, S., Butler, D., Mark, O., 2015. Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review. *Urban Water J.* 12, 14–29. doi:10.1080/1573062X.2013.857421
- Hoeppe, P., 2016. Trends in weather related disasters - Consequences for insurers and society. *Weather Clim. Extrem.* 11, 70–79. doi:10.1016/j.wace.2015.10.002
- Huong, H.T.L., Pathirana, A., 2013. Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 379–394. doi:10.5194/hess-17-379-2013
- Jha, A.K., Bloch, R., Lamond, J., 2012. Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. World Bank. doi:10.1596/978-0-8213-8866-2
- Jongman, B., Hochrainer-stigler, S., Feyen, L., Aerts, J.C.J.H., Mechler, R., Botzen, W.J.W., Bouwer, L.M., Pflug, G., Rojas, R., Ward, P.J., 2014. Increasing stress on disaster-risk finance due to large floods. *Nat. Clim. Chang.* 4, 1–5. doi:10.1038/NCLIMATE2124
- Llasat, M.C., Barriendos, M., Barrera, A., Rigo, T., 2005. Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *J. Hydrol.* 313, 32–47. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.02.004
- Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Barnolas, M., López, L., Altava-Ortiz, V., 2009. An analysis of the evolution of hydrometeorological extremes in newspapers: the case of Catalonia, 1982–2006. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 1201–1212. doi:10.5194/nhess-9-1201-2009

- Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Prat, M.A., Porcú, F., Price, C., Mugnai, A., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Katsanos, D., Michaelides, S., Yair, Y., Savvidou, K., Nicolaides, K., 2010. High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database. *Adv. Geosci.* 23, 47–55. doi:10.5194/adgeo-23-47-2010
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., Gaume, E., 2010. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *J. Hydrol.* 394, 118–133. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.017
- Pereira, S., Diakakis, M., Deligiannakis, G., Zêzere, J.L., 2017. Comparing flood mortality in Portugal and Greece (Western and Eastern Mediterranean). *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 22, 147–157. doi:10.1016/j.ijdrr.2017.03.007
- Pitt, M., 2008. Learning Lessons from the 2007 Floods, *Floods Review*. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Ramos, C., Reis, E., 2001. As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas. *Finisterra* 36, 61–82. doi:10.18055/Finis1648
- Ruiz-Bellet, J.L., Balasch, J.C., Tuset, J., Barriendos, M., Mazon, J., Pino, D., 2015. Historical, hydraulic, hydrological and meteorological reconstruction of 1874 Santa Tecla flash floods in Catalonia (NE Iberian Peninsula). *J. Hydrol.* 524, 279–295. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.02.023
- Smith, K., Ward, R., 1998. *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. Wiley, Chichester.
- Suriya, S., Mudgal, B. V., Nelliya, P., 2012. Flood damage assessment of an urban area in Chennai, India, part I: Methodology. *Nat. Hazards* 62, 149–167. doi:10.1007/s11069-011-9985-3
- Uhlenbrook, S., Steinbrich, A., Tetzlaff, D., Leibundgut, C., 2002. Regional analysis of the generation of extreme floods, in: VanLanen, H.A.J., Demuth, S. (Eds.), *International Association of Hydrological Sciences, Publication. FRIEND 2002 - Regional Hydrology: Bridging the Gap between Research and Practice. Proceedings of the Fourth International FRIEND Conference, Cape Town, South Africa*, pp. 243–249.
- UNISDR, 2013. *Disaster impacts/2000-2012*. http://www.preventionweb.net/files/31737_20130312disaster20002012copy.pdf (acedido em 23.05.2019).

PARTE I

ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA: TERRITÓRIO NATURAL E ACÇÃO HUMANA

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E OCUPAÇÃO DO SOLO NA AML

O primeiro capítulo desta dissertação é destinado à caracterização da AML enquanto território natural e antrópico. Ao longo das próximas páginas procura-se explicar como se desenvolveu esta região nas últimas centenas de milhões de anos e como essa evolução se reflecte na diversidade litológica, nas formas de relevo e nas bacias hidrográficas que compõem a AML. É igualmente analisada a distribuição espacial e a evolução temporal da ocupação do solo, assim como do edificado e da população. Assim, este capítulo procura descrever as características físicas, humanas e da ocupação do solo deste território e compreender a importância dos factores condicionantes e da exposição às cheias/inundações. A precipitação enquanto factor desencadeante destes fenómenos naturais será abordada no capítulo 2.

A AML é uma unidade territorial com uma forte componente urbana, sendo uma das duas áreas metropolitanas existentes em Portugal. É, simultaneamente, uma NUTS II e uma NUTS III (Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos) e ocupa uma superfície de 3002 km². A AML resulta de um conjunto de 18 municípios (figura 1.1), sendo constituída por 114 códigos postais¹ (figura 1.2) e 188 freguesias².

Esta região está separada pelo rio e pelo estuário do Tejo, podendo ser subdividida em duas sub-regiões: as penínsulas de Lisboa (AML Norte) e de Setúbal (AML Sul). Estas possuem dimensões semelhantes (1377 km² e 1625 km², respectivamente) e contabilizam o mesmo número de municípios (9). A AML Norte é composta pelos concelhos da Amadora, Cascais, Lisboa, Loures, Mafra, Odivelas, Oeiras, Sintra e Vila Franca de Xira (figura 1.1). Quanto à AML Sul, é constituída pelos municípios de Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra e Setúbal (figura 1.1). O maior concelho da AML é Palmela com 465 km² e o mais pequeno é a Amadora com 24 km².

¹ Apenas 86 códigos postais têm uma superfície delimitável.

² Antes da reorganização administrativa efectuada em 2013, a AML era constituída por 211 freguesias. Esta unidade administrativa não foi utilizada nesta dissertação.

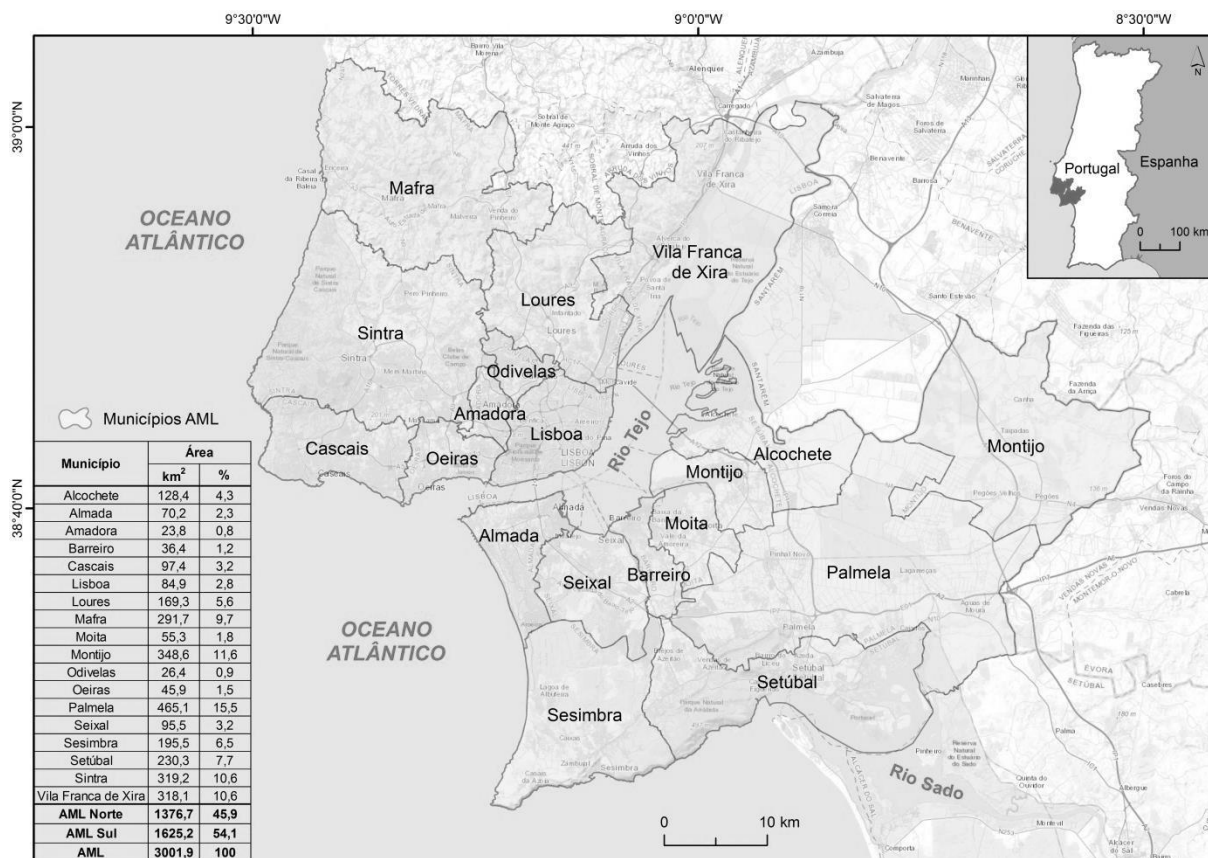


Figura 1.1 Municípios da AML.

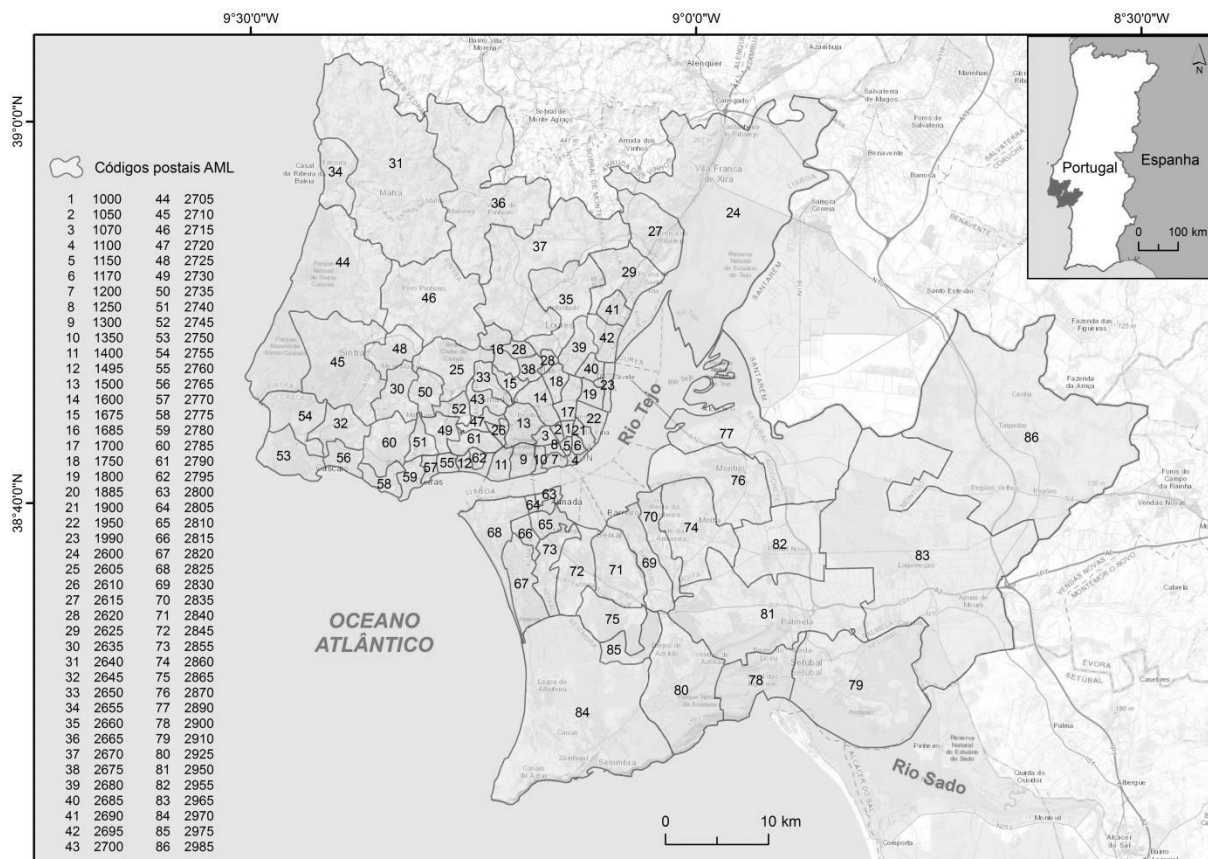


Figura 1.2 Códigos postais da AML.

1.1. RECOLHA E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

A informação cartográfica digital utilizada no decurso deste capítulo está sintetizada na tabela 1.1. Esta informação serviu, sobretudo, para enquadrar e descrever a área de estudo e para delimitar e caracterizar as bacias hidrográficas da AML.

Tabela 1.1 Informação cartográfica digital utilizada.

Designação	Tipo de informação	Fonte	Escala	Folhas
Carta Militar de Portugal, Série M888	Altimetria (curvas de nível)	Centro de Informação Geoespacial do Exército (CIGeoE)	1:25 000	361, 362, 374, 375, 376, 388, 389, 390, 391, 401-A, 402, 403, 404, 405, 406, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 441-B, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 464, 465, 466
	Hidrografia (linhas de água)			
Carta Geológica de Portugal	Geologia e litologia	Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG)		
Carta dos Solos de Portugal	Solos	Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR)		
CORINE <i>Land Cover</i> – CLC (1990 e 2012)	Ocupação do solo	Direcção-Geral do Território (DGT)	1:100 000	n.a.
Carta de Uso e Ocupação do Solo – COS (2010)			1:25 000	

n.a. – não aplicável.

O MDT (Modelo Digital de Terreno), com *pixel* de 10x10 m, gerado a partir da altimetria à escala 1:25 000 constituiu a base de muitas das análises efectuadas ao longo deste capítulo. Este possibilitou a recriação do relevo, a representação dos declives e a delimitação das bacias hidrográficas que drenam a AML em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica), mais concretamente recorrendo ao *software ArcMap*. Com recurso à ferramenta *Basin* foram delimitadas todas as bacias com área igual ou superior a 2 km² e cujo sector terminal se localiza dentro dos limites da AML. Tendo em conta as suas dimensões, não foram delimitadas as bacias dos rios Tejo, Sado e Sorraia.

A informação referente à geologia e litologia foi obtida através da Carta Geológica de Portugal (1:25 000). A litologia das bacias hidrográficas da AML foi organizada em 8 classes: 1) aluviões; 2) outros depósitos superficiais; 3) rochas sedimentares detríticas; 4) rochas sedimentares plásticas; 5) rochas carbonatadas compactas; 6) rochas metamórficas – corneanas; 7) rochas graníticas e afins; e 8) rochas vulcânicas. Os solos foram obtidos através da Carta dos Solos de Portugal (1:25 000).

A ocupação do solo provém do CORINE *Land Cover* (CLC), para os anos de 1990 e 2012, e da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) – nível 5 – para o ano de 2010³. A informação do CLC possui uma unidade mínima cartográfica de 25 hectares e a da COS de 1 hectare, estando representadas às

³ A COS 2015 não foi utilizada porque o nível 5 só foi disponibilizado na fase final da execução desta dissertação.

escalas 1:100 000 e 1:25 000, respectivamente. Devido ao seu maior grau de pormenor recorreu-se à COS para representar e caracterizar a ocupação do solo na AML. Todavia, para se proceder à sua evolução recorreu-se ao CLC em detrimento da COS, pois abrange um maior intervalo de tempo (22 anos entre 1990 e 2012). Os tipos de ocupação do solo existentes na COS e no CLC foram agrupados em cinco classes: 1) áreas edificadas; 2) áreas agrícolas e agro-florestais; 3) áreas florestais e meios naturais e semi-naturais; 4) zonas húmidas; e 5) corpos de água⁴. Refira-se que os espaços verdes como jardins, parques e campos de golfe foram incluídos na classe das áreas florestais, já que o seu grau de infiltração se aproxima mais do das áreas naturais do que do das áreas edificadas.

Existem vários factores condicionantes (permanentes e variáveis) das bacias hidrográficas às cheias/inundações: geometria, rede de drenagem, relevo, substrato geológico, solos e ocupação do solo. A sua quantificação pode ser alcançada através de diversos parâmetros e indicadores. Para não tornar esta análise demasiado extensa, até porque outros estudos já o fizeram de forma detalhada nesta região (Leal, 2011; Leal e Ramos, 2013), foram calculados apenas alguns indicadores considerados importantes para a compreensão das três principais componentes das bacias da AML: geometria, relevo e permeabilidade (tabela 1.2). A rede de drenagem não foi directamente considerada devido à quase inexistência de linhas de água à superfície no município de Lisboa e em algumas áreas de outros concelhos, algo que inviabilizaria a sua comparação com as restantes bacias da AML. Para além dos parâmetros ligados aos factores condicionantes, foram obtidos os tempos de concentração das bacias hidrográficas. Estes foram calculados através do método de Temez, já que é o que melhor se aplica às pequenas bacias hidrográficas portuguesas, particularmente às localizadas na região em estudo (Correia, 1984). Das muitas fórmulas existentes, há aquelas que contabilizam os efeitos da ocupação do solo. São exemplos a do *Soil Conservation Service* (SCS) ou a do *Federal Aviation Administration* (FAA), mas os seus resultados tendem a sobrestimar (Chow *et al.*, 1988; McCuen, 1997) ou a subestimar os tempos de concentração (Leal, 2011), respectivamente. Por isso, a opção recaiu na utilização exclusiva do método de Temez.

A permeabilidade de uma bacia pode ser aferida através da análise exclusiva ou combinada do substrato geológico, dos solos e da ocupação do solo. Neste caso, optou-se pela quantificação da permeabilidade das bacias hidrográficas da AML através do cálculo do *curve number* (CN) ou número de escoamento, resultante da combinação entre os solos e a ocupação do solo (COS 2010, nível 5).

⁴ Para efeitos de simplificação de texto, daqui em diante as áreas agrícolas e agro-florestais passam a designar-se apenas como áreas agrícolas e as áreas florestais e meios naturais e semi-naturais como áreas florestais.

Tabela 1.2 Parâmetros e fórmulas referentes aos factores condicionantes das cheias/inundações nas bacias hidrográficas da AML.

Parâmetro	Fórmula	Notas
Amplitude altimétrica	$D = AM - Am$	D = Amplitude altimétrica (m); AM = altitude máxima (m); Am = altitude mínima (m)
Altitude média	$Z = \frac{\sum Zi \cdot Ai}{A}$	Z = altitude média (m); Zi = altitude de cada célula (m); Ai = área de cada célula (km ²); A = área da bacia (km ²)
Declive médio	$S = \frac{\sum Si \cdot Ai}{A}$	S = declive médio (°); Si = declive de cada célula (°); Ai = área de cada célula (km ²); A = área da bacia (km ²)
Inclinação média do curso de água principal	$I = \frac{D}{C}$	I = inclinação média do curso de água principal (m/km); D = desnível entre a cabeceira e a desembocadura do curso de água principal (m); C = comprimento do curso de água principal (km)
Tempo de concentração (Temez)	$Tc = 0,3 \cdot \left(\frac{Ch}{I^{0,25}} \right)^{0,76}$	Tc = tempo de concentração (horas); Ch = comprimento do curso de água principal (km); I = inclinação média do curso de água principal (km/km)

Quanto aos solos, foram organizados em quatro tipos hidrológicos, recorrendo à classificação do SCS: 1) tipo A (baixo potencial para o escoamento superficial e elevada capacidade de infiltração); 2) tipo B (potencial de escoamento superficial abaixo da média e capacidade de infiltração moderada); 3) tipo C (potencial de escoamento superficial acima da média e baixa capacidade de infiltração); e 4) tipo D (elevado potencial de escoamento superficial e muito baixa capacidade de infiltração). Cada solo encaixa num destes quatro tipos hidrológicos em função da sua textura, definida a partir da percentagem de areia, silte e argila (figura 1.3). A textura de um solo também pode ser classificada como ligeira (tipo hidrológico A), mediana (tipos hidrológicos B ou C) e pesada (tipo hidrológico D). Através da informação existente na nota explicativa da Carta dos Solos de Portugal foi possível determinar o tipo hidrológico de solo referente a cada solo existente nas bacias da AML.

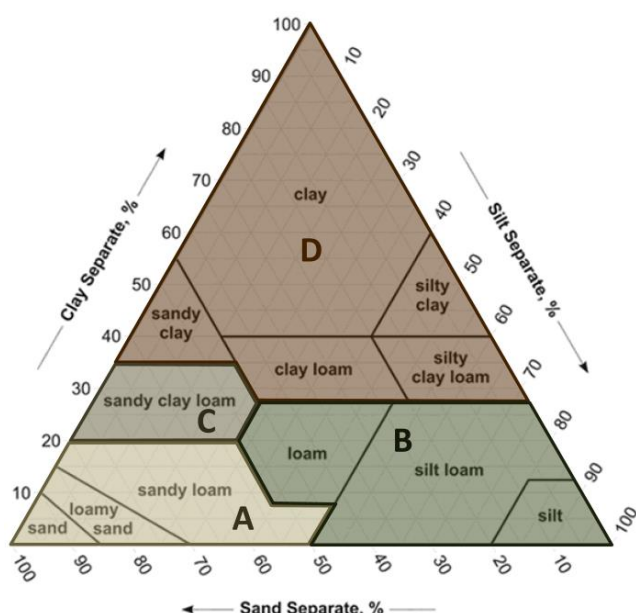


Figura 1.3 Diagrama da textura do solo e os respectivos tipos hidrológicos de solos segundo a classificação do SCS.

Adaptado de:
<http://www.pda.org.uk/news/nf86-soil-texture-triangle.htm>

O CN de uma superfície resulta do cruzamento entre o tipo hidrológico de solo e o seu tipo de ocupação. Este é tanto mais elevado quanto menor for o seu grau de permeabilidade, com o valor máximo (100) a representar uma superfície impermeável. O valor de CN varia ainda em função das condições antecedentes de humidade (AMC), representativas do estado de saturação dos solos. Os valores apresentados na tabela 1.3 referem-se a condições de humidade médias ou normais (AMC II). É também possível determinar o CN para condições de secura (AMC I) e para quando o solo está praticamente saturado (AMC III) em virtude da ocorrência de precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores. O CN para AMC III é obtido através da aplicação de uma fórmula de majoração (Chow *et al.*, 1988):

$$CN(III) = \frac{23 \text{ } CN(AMC \text{ II})}{10 + 0,13 \text{ } CN(AMC \text{ II})}$$

Tabela 1.3 Valores do *curve number* (CN) segundo o *Soil Conservation Service* (SCS) (Lencastre e Franco, 1984; Carvalho, 1998; Ramos, 2009).

Ocupação do solo	Condições de superfície	Tipo hidrológico de solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado		77	86	91	94
Culturas arvenses	Segundo o maior declive	64	76	84	88
	Segundo as curvas de nível	62	74	82	85
	Segundo as curvas de nível e em terraços	60	71	79	82
Rotações de cultura	Segundo o maior declive	62	75	83	87
	Segundo as curvas de nível	60	72	81	84
	Segundo as curvas de nível e em terraços	57	70	78	82
Pastagens	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	84
	Boas	39	61	74	80
	Pobres, segundo as curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, segundo as curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, segundo as curvas de nível	6	35	70	79
Prado permanente		30	58	71	78
Florestas	Muito abertas ou de transpiração baixa	56	75	86	91
	Abertas ou de transpiração baixa	46	68	78	84
	Normais	36	60	70	76
	Densas ou de transpiração alta	26	52	62	69
	Muito densas ou de transpiração alta	15	44	54	61
Áreas sociais rurais		59	74	82	86
Espaços abertos, relvados, campos de golfe, cemitérios, etc.	75% ou mais com cobertura de relva	39	61	74	80
	Entre 50% e 75% com cobertura de relva	49	69	79	84
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Áreas industriais (72% de impermeabilização)		81	88	91	93
Áreas residenciais	Lote de 500 m ² ; impermeabilização > 65%	77	85	90	92
	Lote de 500 m ² ; impermeabilização < 65%	61	75	83	87
	Lote de 1000 m ² ; 38% de impermeabilização	57	72	81	86
	Lote de 2000 m ² ; 25% de impermeabilização	54	70	80	85
	Lote de 4000 m ² ; 20% de impermeabilização	51	68	79	84
Parques pavimentados, telhados, passeios, etc.		98	98	98	98
Ruas e estradas	Pavimentadas, com sarjetas e colectores	98	98	98	98
	Empedradas	76	85	89	91
	Terra batida	72	82	87	89
Superfície impermeável		100	100	100	100

Por fim, os dados referentes ao edificado e à população da AML foram obtidos através dos Censos, actualmente da responsabilidade do Instituto Nacional de Estatística (INE). O número de habitantes está disponível a partir de 1864 até 2011 e o número de edifícios a partir de 1940. A desagregação por município da informação relativa ao edificado só foi realizada a partir dos Censos 1960. Importa referir que Amadora e Odivelas são os municípios mais recentes dos que compõem a AML, sendo criados em 1979 e 1998, respectivamente. Como tal, não existem dados anteriores a essas datas para estes dois concelhos. O número de alojamentos, a data de construção dos edifícios e o número de pisos foram obtidos a partir dos Censos 2011.

1.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

1.2.1. Traços gerais

A AML está integrada na Orla Mesocenozóica Ocidental, formada há sensivelmente 200 milhões de anos, e na Bacia Cenozóica do Tejo-Sado, cuja sedimentação se terá iniciado há cerca de 70 milhões de anos (Brum Ferreira, 2005). São, por isso, unidades mais recentes quando comparadas com a maioria do território português, que se desenvolve em terrenos do Maciço Antigo. Ao contrário desta unidade morfoestrutural, as formas estruturais são predominantes tanto na Orla Mesocenozóica Ocidental, como na Bacia Cenozóica do Tejo-Sado (Brum Ferreira, 2005).

Esta é uma região de relevo moderado (figura 1.4), em que se destacam as serras de Sintra (528 metros, na Pena) e da Arrábida (501 metros, no Formosinho) (Ramos-Pereira, 2003). A AML apresenta uma grande diversidade litológica, em que as formações sedimentares são dominantes (92%), mas onde também existem rochas magmáticas (7%) e metamórficas (1%). Na AML afloram rochas e outras formações datadas do Jurássico Inferior ao Holocénico, sendo o Pliocénico (29%), o Holocénico (23%) e o Cretácico Inferior (16%) as épocas geológicas mais expostas à superfície (figura 1.5).

Esta região é constituída pelas penínsulas de Lisboa (AML Norte) e de Setúbal (AML Sul), separadas pelo rio e estuário do Tejo, apresentando mais diferenças do que semelhanças em termos litológicos, geomorfológicos e hidrológicos. É necessário lembrar ainda que nos últimos largos milhões de anos ocorreram variações significativas na tectónica, nos ambientes de sedimentação, no relevo, no clima e na própria posição geográfica. Da complexa conjugação de todos estes factores e da acção antrópica resultou o território da AML como hoje o conhecemos.

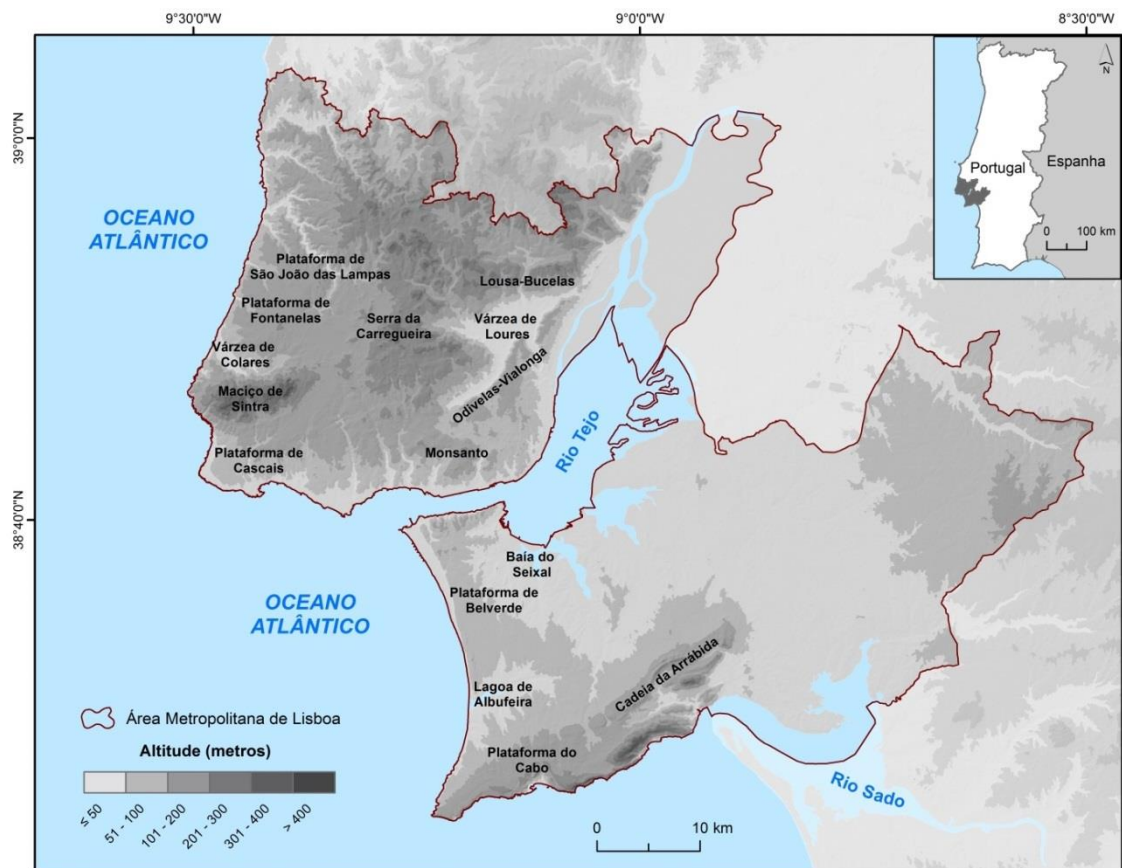


Figura 1.4 Altitude na AML.

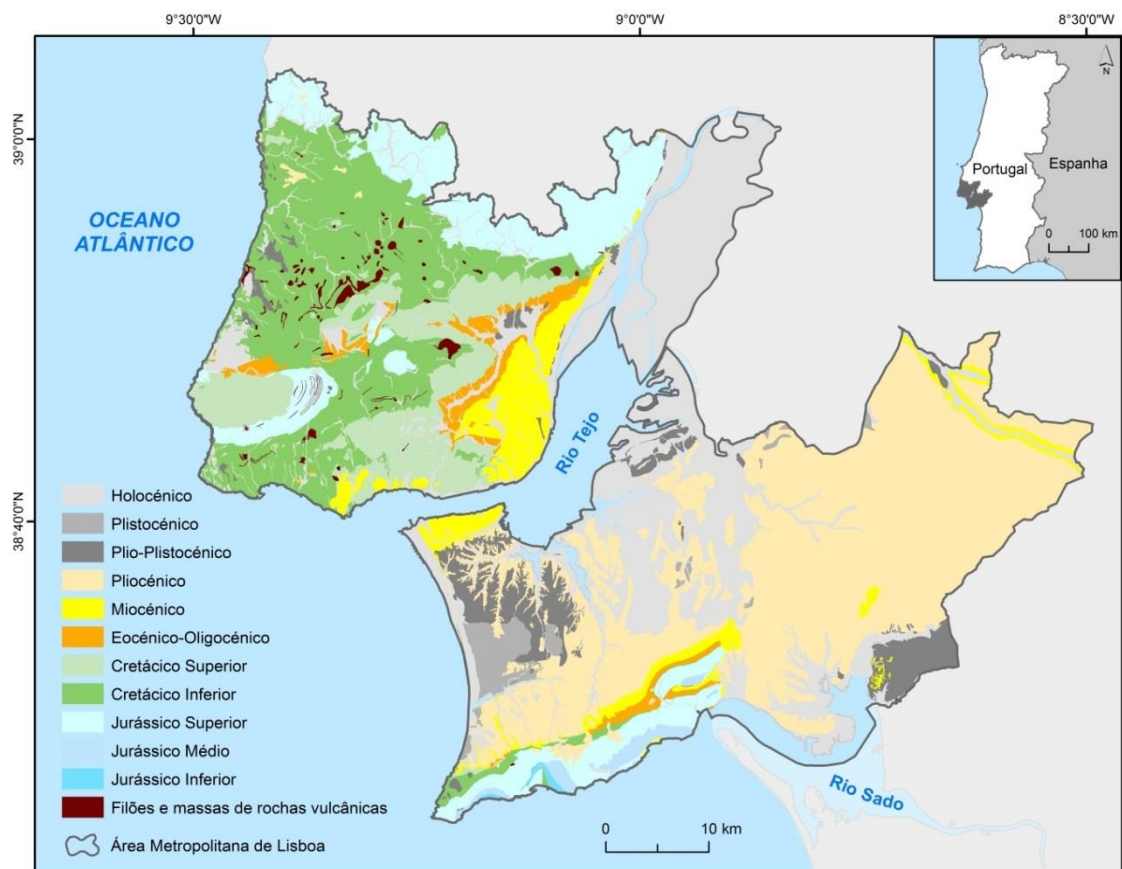


Figura 1.5 Geologia da AML. Fonte: Carta Geológica de Portugal, 1:25 000, LNEG.

1.2.2. Enquadramento paleogeográfico e unidades morfoestruturais da AML

O início da formação da Orla Mesocenozóica Ocidental é concordante com o começo de um período distensivo marcado pela abertura do mar de Tétis, aquando da desagregação inicial do supercontinente Pangeia, há cerca de 200 milhões de anos, e pela posterior abertura do oceano Atlântico Norte, há sensivelmente 112 milhões de anos (Srivastava *et al.*, 1990; Péron-Pinvidic *et al.*, 2007; Tucholke *et al.*, 2007). O contexto geodinâmico ao longo do Mesozóico, dominado por uma tectónica tipicamente distensiva (Ramalho *et al.*, 1993; Terrinha *et al.*, 2018), deu origem à constituição de várias bacias de *rifting* nas margens e no interior do território da Ibéria (Muñoz, 1992; Pinheiro *et al.*, 1996; Kullberg *et al.*, 2006a; Quintana *et al.*, 2015). Em Portugal, as principais foram as bacias do Porto, Lusitaniana ou Lusitânica, do Alentejo e do Algarve (Pinheiro *et al.*, 1996; Kullberg *et al.*, 2006a), as quais perduraram até à abertura do oceano Atlântico. A partir daí, na margem ocidental Ibérica (margem passiva) formaram-se bacias sedimentares que, em diversos casos, são coincidentes geograficamente com as bacias de *rifting*, embora os processos que aí passaram a ocorrer não lhe estejam associados (Kullberg *et al.*, 2006a). De qualquer forma, ambas são áreas de deposição de sedimentos e, como tal, não será efectuada qualquer distinção na sua denominação antes e depois da oceanização.

A maior parte do território da Orla Mesocenozóica Ocidental foi então formada por sedimentos acumulados na bacia Lusitaniana, da qual cerca de 2/3 da sua superfície se encontra emersa na actualidade (Kullberg *et al.*, 2006a). Trata-se de uma unidade morfoestrutural alongada, com orientação aproximada N-S e com uma área superior a 20 000 km² (Rasmussen *et al.*, 1998; Kullberg *et al.*, 2006a). A evolução tectónica desta bacia ficou condicionada pela presença de falhas tardi-variscas de desligamento esquerdo NNE-SSW e NE-SW, geradas entre os 300 e 280 milhões de anos (Ramalho *et al.*, 1993; Ribeiro, 2002; Kullberg *et al.*, 2006a; Pereira e Alves, 2011). As falhas de direcção N-S, NW-SE e E-W existentes também foram importantes na evolução da bacia Lusitaniana, que se estende entre a falha de Aveiro (a norte), uma área a sul da falha da Arrábida (a sul) e o *horst* da Berlenga (a oeste) (Rasmussen *et al.*, 1998; Kullberg *et al.*, 2006a). A densidade e variedade de orientações das falhas deram origem a uma forte compartimentação da bacia, que pode ser dividida em três sectores: setentrional, central e meridional (Rocha e Soares, 1984). A AML está enquadrada nos sectores central e meridional.

O território que hoje é a AML era muito distinto durante o Mesozóico, estando grande parte dele submerso. A partir da fragmentação do supercontinente Pangeia, no final do Triásico, verificou-se uma tendência generalizada de subida eustática, que terá atingido o ponto máximo (entre 170 e 250 metros acima do nível actual) no Cretácico Superior, entre o Turoniano e o Campaniano (Plint *et al.*, 1992; Hardenbol *et al.*, 1998; Müller *et al.*, 2008; Snedden e Liu, 2010; Holz, 2015). Desde aí

verificou-se uma inversão na tendência geral que perdura, em termos geológicos, até à actualidade. Não obstante esta tendência, existiram subidas do nível médio do mar mais ou menos relevantes durante o Eocénico, Miocénico e Quaternário, que estiveram relacionadas com os ciclos astronómicos (Zachos *et al.*, 2001; Miller *et al.*, 2005; Boulila *et al.*, 2011; Mudelsee *et al.*, 2014). Daqui resultaram progressivas modificações no ambiente de sedimentação que, por sua vez, conduziram às diferentes características do substrato geológico da AML.

Contudo, é importante notar que a posição da linha de costa de um território ao longo do tempo não é uma consequência directa e exclusiva das variações do nível do mar, pois esta também é influenciada pela tectónica regional e/ou local (levantamentos, abatimentos ou subsidência) (Harrison, 1990; Miller *et al.*, 2005). Neste contexto, é interessante verificar que o pico máximo do nível médio do mar verificado no Cretácico Superior tenha coincidido, de forma genérica, com a transição do regime tectónico distensivo para compressivo na região da Ibéria (há cerca de 83 milhões de anos).

Por outro lado, foi neste quadro compressivo que se iniciou a formação da Bacia Cenozóica do Tejo-Sado, há cerca de 70 milhões de anos (Brum Ferreira, 2005). Apesar disso, a sua sedimentação principal terá ocorrido já durante o Miocénico (Mendonça e Cabral, 2003), aquando da segunda principal fase compressiva/orogénica, também responsável pela formação das cordilheiras Bética (Espanha) e do Rif (Marrocos) (Pinheiro *et al.*, 1996; Pais *et al.*, 2012; Quintana *et al.*, 2015). A Bacia Cenozóica do Tejo-Sado é uma depressão tectónica onde se verificou uma progressiva subsidência controlada por falhas, cujo enchimento sedimentar é predominantemente detrítico proveniente do Maciço Antigo e da Orla Mesocenozóica Ocidental, com intercalações de formações marinhas e salobras quando ocorreram máximos transgressivos (Mendonça e Cabral, 2003). Sabe-se que funcionou como uma bacia endorreica durante o Paleogénico e que, a partir do Miocénico, a sedimentação passou a ocorrer no interface oceano-continente (Dias e Pais, 2009). A Bacia Cenozóica do Tejo-Sado apresenta uma orientação NE-SW e uma estrutura sub-horizontal, formando grande parte do território da AML Sul. Trata-se, assim, da unidade morfoestrutural mais recente do território continental português e também a mais simples em termos estruturais, traduzindo-se num relevo igualmente simples.

1.2.3. Rio e estuário do Tejo

O rio Tejo condiciona fisicamente a AML, assim como a ocupação do território, favorecendo igualmente a sua ocupação humana durante séculos (Barata Salgueiro, 2001). Assim, o Tejo pode ser considerado, geográfica e historicamente, o elemento essencial e estruturante desta região (figura 1.4). É o rio mais longo da Península Ibérica, com uma extensão de 1110 km, e drena uma área de

80.630 km², dos quais 24.860 km² em território português (Azevêdo *et al.*, 2004). A maior parte do seu percurso tem uma orientação ENE-WSW ao longo de um vale encaixado, entalhando formações do Pré-Câmbrico e do Paleozóico (Azevêdo *et al.*, 2004). Depois de Tancos/Vila Nova da Barquinha, o Tejo apresenta uma orientação NE-SW, denunciando a existência de uma falha denominada como falha do vale inferior do Tejo (Brum Ferreira, 2005). A partir daí o rio passa a escoar ao longo de terrenos do Cenozóico, bordejado por terraços Plistocénicos, depositando os sedimentos até aí transportados numa planície aluvial que chega a atingir os 10 km de extensão (Azevêdo *et al.*, 2004). O curso de água volta à sua orientação inicial (ENE-WSW) nos últimos quilómetros do seu traçado, entre Lisboa e Almada.

Os efeitos da propagação da maré são sentidos até próximo de Muge (Salvaterra de Magos), contudo, considera-se o termo da intrusão salina em condições hidrológicas normais, localizado 30 km a jusante, como o limite montante do estuário do Tejo (Freire, 1999). Deste modo, o estuário possui uma área de cerca de 320 km² entre Vila Franca de Xira e a desembocadura (Freire, 1999). Este pode subdividir-se em duas unidades fisiográficas essenciais: o sector interior e o canal da desembocadura (designado pela autora como “canal da embocadura”).

A área interior desenvolve-se entre Vila Franca de Xira e a transversal entre o Cais do Sodré e Cacilhas. Até Alhandra o rio apresenta um canal único, estreito e pouco profundo. Este canal vai progressivamente alargando, assumindo uma morfologia deltaica (delta interior) e sendo marcado pela existência de formas de acumulação longitudinais, como mouchões (de Alhandra, da Póvoa e do Lombo do Tejo) e barras submersas (Freire, 1999). Note-se que este tipo de morfologia favoreceu o desenvolvimento de extensas áreas de sapal na margem esquerda do denominado mar da Palha, onde o estuário chega a atingir 15 km de largura (Freire, 1999). Nesta área o ambiente é, maioritariamente, pouco energético, favorecendo a deposição e acumulação de sedimentos, nomeadamente silto-argilosos.

No canal da embocadura, que se estende entre as transversais Cais do Sodré-Cacilhas e Paço de Arcos-Cova do Vapor, o vale torna-se confinado. Nesse sector o rio Tejo escoia num canal estreito (entre 1,8 e 4 km de largura) e profundo (atinge os 46 metros) (Freire, 1999), e atravessa o chamado gargalo do Tejo, aproveitando uma área abatida tectonicamente para aí se instalar já durante o Quaternário (Ramos-Pereira, 2003). A presença da falha do gargalo do Tejo e o aumento da subsidência da bacia sedimentar neste período provocaram a reorganização da rede hidrográfica e alteraram o percurso do rio, impondo um controlo estrutural ao seu traçado actual (Freire, 1999). Refira-se que, anteriormente, o precursor do Tejo ou paleo-Tejo era um sistema fluvial anastomosado altamente energético (Pais *et al.*, 2012) que se espalhava ao longo de uma vasta planície aluvial, estando uma das principais desembocaduras localizada junto à lagoa de Albufeira

(Freire, 1999). Contudo, tal como refere Andrade (1933), é possível que o delta se prolongasse ainda mais para Sul, juntando-se inclusivamente ao estuário do Sado.

Tratando-se de uma grande bacia hidrográfica, a bacia do rio Tejo pode ser afectada por cheias progressivas em vários sectores durante os meses de Inverno, em resultado de longos períodos chuvosos. A edificação de várias barragens em Portugal e em Espanha, tanto no rio Tejo como em alguns dos seus principais afluentes, e a (actual) correcta gestão e coordenação de descargas entre os dois países possibilita um maior controlo das cheias.

1.2.4. AML Norte

A AML Norte ocupa uma superfície de 1377 km² e desenvolve-se, essencialmente, em terrenos da Orla Mesoceno-zóica Ocidental, com excepção das formações pertencentes à bacia sedimentar do Tejo-Sado, localizadas na parte oriental da Península da Lisboa. Na sua constituição litológica sobressaem as formações sedimentares, em que o carácter marinho se acentua de Este para Oeste. Isto significa que as formações detríticas têm maior relevância no interior e que as formações carbonatadas são predominantes mais próximo do litoral. A exclusividade das formações sedimentares é apenas interrompida por um ciclo de actividade magmática ocorrido no Cretácico Superior, que deu origem ao maciço sub-vulcânico de Sintra e a uma área de metamorfismo daí resultante. A maioria das rochas que afloram na AML Norte foram formadas durante o Cretácico (figura 1.5), num período em que, recorde-se, o nível médio do mar era muito superior ao actual. Existem ainda formações mais antigas (Jurássico) e mais recentes (Miocénico e Quaternário) (figura 1.5).

Na AML Norte o relevo é genericamente concordante com a estrutura, em que as camadas apresentam uma estrutura monoclinial e inclinação de 10° a 20° para sul ou sudeste (Zêzere, 1991; Ramalho *et al.*, 1993). Estas configuram o flanco sul de um anticlinal centrado em Arruda dos Vinhos (Zêzere, 1991), encadeado com o flanco norte do sinclinal do Baixo Tejo, cujo eixo se localiza na lagoa de Albufeira, e com o seu respectivo flanco sul, que termina na cadeia da Arrábida (Ramalho *et al.*, 1993). Mais à frente, estes elementos geomorfológicos serão abordados com maior detalhe. Quanto às superfícies de aplanamento, em que o relevo é discordante da estrutura, estas existem apenas numa faixa litoral, devido à acção marinha. Note-se que as restantes formas planas correspondem às planícies aluviais. As curtas fases de estabilidade tectónica e a grande diversidade litológica existente explicam a quase inexistência de superfícies arrasadas (Brum Ferreira, 2005).

Como já foi dito, esta sub-região é marcada pela existência do maciço sub-vulcânico de Sintra (figura 1.4), considerado o acidente geológico e geomorfológico mais importante da Península de Lisboa (Teixeira, 1962). Trata-se de um doma isolado, dissimétrico e alongado, cujas vertentes são

mais abruptas a norte do que a sul, apresentando uma forma elíptica e uma orientação aproximadamente este-oeste (Ramalho *et al.*, 1993; Kullberg e Kullberg, 2000; Ramos-Pereira, 2003). Está localizado num acidente crustal profundo de orientação NW-SE a NNW-SSE e com uma extensão aproximada de 600 km, ao longo do qual também se instalaram os maciços de Sines e Monchique (Coelho, 1974; Kullberg e Kullberg, 2000; Kullberg *et al.*, 2006b; Pais *et al.*, 2012; Terrinha *et al.*, 2018). O maciço de Sintra começou a sua ascensão no final do Cretácico Superior, há cerca de 82 milhões de anos, empolando e deformando uma superfície de rochas sedimentares, posteriormente erodida e desmantelada (Kullberg e Kullberg, 2000; Ramos-Pereira, 2003). As rochas magmáticas (intrusivas) surgiram à superfície há cerca de 65 milhões de anos, ou seja, na transição do Cretácico para o Paleogénico, criando um núcleo sienítico envolvido por um anel granítico e por um anel gabro-diorítico descontínuo (Ramalho *et al.*, 1993). À sua volta formou-se ainda um outro anel, de metamorfismo, resultante de metamorfismo de contacto, ainda visível a sul e a este da serra de Sintra (Ramos-Pereira, 2003). Trata-se das designadas formações de S. Pedro (mármore) e do Ramalhão, também designada por xistos do Ramalhão. Para além destes efeitos, a instalação do maciço deu origem à deformação das rochas sedimentares adjacentes (Kullberg *et al.*, 2006b) e a vários sistemas de falhas radiais, originando a instalação de uma rede de filões (Ramalho *et al.*, 1993; Kullberg e Kullberg, 2000).

Ainda no que respeita às falhas, existem quatro sistemas dominantes na AML Norte, com diferentes orientações: NW-SE, NNE-SSW a NE-SW, WNW-ESE e E-W (Ramalho *et al.*, 1993). Estes sistemas de falhas originaram, em muitos casos, movimentos de desligamento, dobras e cavalgamentos, afectando todo o material depositado nas áreas adjacentes à serra de Sintra, desde as formações do Jurássico às do Miocénico. Porém, é importante referir que a maioria destas falhas não se deve à intrusão do maciço eruptivo. Estima-se que algumas remontem mesmo ao episódio de fracturação tardi-varisca (aproximadamente entre 300 a 280 milhões de anos) e outras ao período de distensão jurássica, sendo, posteriormente, reactivadas durante os períodos compressivos Meso-Cenozóico e Miocénico (Ribeiro *et al.*, 1979; Ribeiro, 2002; Kullberg *et al.*, 2006b). Assim sendo, as falhas de orientação NW-SE serviram como vias de ascensão magmática para a edificação dos maciços de Sintra, Sines e Monchique (Kullberg *et al.*, 2006b; Terrinha *et al.*, 2018). Quanto à rede hidrográfica, esta é muito encaixada no interior da serra, originando, a oeste do maciço, vales suspensos na arriba.

A norte da serra de Sintra formaram-se as plataformas litorais de Fontanelas e de São João das Lampas (entre 100 e 150 metros de altitude), e a sul a de Cascais (entre 60 e 80 metros de altitude) (figura 1.4). Estas são áreas planas poligénicas e independentes da estrutura, entalhadas pela rede hidrográfica e compostas por rochas sedimentares datadas do Jurássico Superior ao Quaternário (Kullberg e Kullberg, 2000). Resultam do arrasamento da estrutura monoclinal por

sucessivos retoques marinhos, posteriormente levantadas por movimentos tectónicos (Ramos-Pereira, 1988, 2003). Para o interior, estas áreas aplanadas sofreram, em diversos casos, movimentações verticais, tal como sucede na serra da Carregueira (figura 1.4), que se trata de um bloco levantado ao longo da falha de Sabugo-Olelas (Ramos-Pereira, 1982, 2003; Kullberg e Kullberg, 2000).

Refiram-se ainda outros dois tipos de elementos da paisagem desta região. Em primeiro lugar, os testemunhos de actividade vulcânica, designadamente os materiais que compõem o Complexo Vulcânico de Lisboa e alguns cones vulcânicos parcialmente desmantelados, cujos melhores exemplos se encontram entre Mafra e Cheleiros (Ramos-Pereira, 2003; Brum Ferreira, 2005). Vale a pena destacar o Complexo Vulcânico de Lisboa, até pela superfície que ocupa (cerca de 200 km²), entre Lisboa, Sintra, Mafra e Runa (Torres Vedras) (Ramalho *et al.*, 1993). A sua existência é correlativa da ascensão do maciço sub-vulcânico de Sintra, há cerca de 72 milhões de anos, sendo composto por vários tipos de estruturas (chaminés, escoadas, soleiras, diques, entre outras) e de rochas (dominam os basaltos, mas existem também traquitos, traquibasaltos, riólitos, gabros, brechas ou piroclastos) (Ramalho *et al.*, 1993). O vulcanismo nesta região parece ter ocorrido de forma descontínua, sucedendo-se diversos episódios explosivos, dos quais resultaram piroclastos e brechas, intercalados por fases de emissão efusiva, em que se verificaram escoadas basálticas, e por períodos de calma, cuja duração terá sido, inclusivamente, suficiente para erodir as emissões precedentes (Ramalho *et al.*, 1993). A ascensão do maciço de Sintra e a actividade vulcânica que lhe sucedeu em diversos locais da AML Norte também terão sido responsáveis pelo soerguimento da actual área de Lisboa e pela deformação e empolamento das rochas sedimentares em Monsanto. Posteriormente, estas viriam a ser cobertas pelos materiais do Complexo Vulcânico de Lisboa, e assim Monsanto tornava-se no ponto mais alto do município de Lisboa (figura 1.4).

O outro tipo de elemento da paisagem referido são as áreas deprimidas, que se distinguem pelos seus bons solos agrícolas, resultado da progressiva deposição de sedimentos por parte dos cursos de água. As várzeas de Loures e de Colares (figura 1.4), assim como a depressão da Granja do Marquês, são os melhores exemplos nesta região (Ramos-Pereira, 2003).

O maciço de Sintra, as plataformas litorais e os testemunhos de actividade vulcânica introduzem diversidade numa região em que, como já foi referido, predominam as formas estruturais. Os melhores exemplos de relevos condicionados pela estrutura na AML Norte são as costeiras. Tal como refere Brum Ferreira (2005), estas são as formas de relevo mais simples e típicas das estruturas sedimentares pouco deformadas. A conjugação entre a estrutura monoclinal e a alternância de rochas de diferente dureza, permeabilidade e plasticidade deu origem aos relevos de costeira localizados a Norte de Lisboa (Zêzere, 1991). A costeira de Lousa-Bucelas, com uma extensão de aproximadamente 12 km e uma orientação W-E, e a costeira de Odivelas-Vialonga, que se

desenvolve ao longo de 18 km e possui uma orientação SW-NE, formam dois importantes alinhamentos de relevo (Zêzere, 1991) (figura 1.4). Em função deste tipo de relevo estabeleceram-se nesta área cursos de água ortoclinais, cataclinais e anacinais.

A nível litológico, e como já foi referido, a AML Norte possui uma grande diversidade, sendo, essencialmente, composta por rochas sedimentares como calcários, margas ou argilas. Para além destas, também são relevantes as rochas que constituem o maciço de Sintra (granitos, sienitos, dioritos, gabros e brechas vulcânicas), as rochas metamorfizadas que se encontram na sua orla e as escoadas basálticas do Complexo Vulcânico de Lisboa (Ramos-Pereira, 2003; Kullberg e Machado, 2006). Cobrindo o substrato geológico encontram-se formações mais recentes, como as aluviões dos cursos de água, com particular relevância para a planície aluvial do Tejo, ou como as areias de duna e de praia. Com excepção do sistema aquífero Pisões-Atrozela e das aluviões do Tejo, as reservas subterrâneas na Península de Lisboa são praticamente inexistentes. Nota ainda para a costa desta sub-região, rochosa e escarpada, com praias pequenas e encaixadas, localizadas na foz de pequenos cursos de água ou em estreitas baías (Alveirinho Dias, 1987).

1.2.5. AML Sul

A AML Sul ocupa uma área de 1625 km² e está enquadrada pelos estuários do Tejo (a norte) e do Sado (a sul) (figura 1.4). Ao contrário da AML Norte, esta sub-região está maioritariamente incluída na bacia sedimentar do Tejo-Sado, incluindo ainda terrenos da Orla Mesocenozóica Ocidental (cadeia da Arrábida). A AML Sul desenvolve-se quase exclusivamente em terrenos sedimentares, datados do Jurássico Inferior ao Quaternário, em que dominam as formações do Neogénico e do Quaternário (figura 1.5). São, por isso, mais recentes quando comparadas com as que compõem a AML Norte. Fruto da sua posição geográfica, incluída quase na totalidade na bacia sedimentar do Tejo-Sado, a AML Sul resulta do enchimento sedimentar de uma área deprimida tectonicamente, cujo material se depositou sobre as camadas do Jurássico, do Cretácico e do Paleogénico. Têm, essencialmente, um carácter detrítico (areias e cascalho) e, como tal, uma proveniência continental resultante da erosão do Maciço Antigo e da Orla Mesocenozóica Ocidental. Recorde-se que, até ao Quaternário, o rio Tejo possuía uma planície aluvial muito mais extensa do que a actual e era um sistema anastomosado (Freire, 1999; Pais *et al.*, 2012), em que o delta poderia, inclusivamente, fazer a junção ao Sado (Andrade, 1933).

Tal como a Península de Lisboa, a Península de Setúbal apresenta uma serra que se destaca do restante contexto (Arrábida), alinhamentos de relevos monoclinais (costeiras, mas também de tipo *hog-back*) e plataformas litorais (de Belverde e do Cabo) (figura 1.4). Tal como refere Ramos-

Pereira (2003), a organização estrutural da AML Sul é determinada pela cadeia da Arrábida e pelo sinclinal centrado na lagoa de Albufeira.

A serra da Arrábida tem, apesar da sua relevância na paisagem, génese e características distintas das da serra de Sintra. Este “verdadeiro museu de formas estruturais”, como classifica Orlando Ribeiro (1968, p. 258), estende-se ao longo de 35 km de comprimento por 6 km de largura média. É aqui que se encontra o máximo de complexidade da tectónica alpina em Portugal, não sendo, contudo, uma verdadeira cadeia alpina (Brum Ferreira, 2005). Trata-se de uma sucessão de três linhas de anticlinais falhados com orientação ENE-WSW, e em que, da primeira linha, actualmente resta apenas o flanco norte (Ribeiro, 1968; Alcoforado *et al.*, 1993). No entanto, estes anticlinais encontram-se parcial ou totalmente erodidos e, por isso, muito dificilmente devem ser considerados montes anticlinais (Brum Ferreira, 2005). Destaque para os relevos do Formosinho e de S. Luís, com 501 e 392 metros de altitude, respectivamente.

A deformação da cadeia da Arrábida ocorreu em duas fases de compressão principais durante o Miocénico: a primeira entre 21,8 e 16,6 milhões de anos, e a segunda entre 8 e 6,5 milhões de anos (Kullberg *et al.*, 2006a). Esta cadeia é formada por sequências carbonatadas, dolomíticas e margosas, com algumas intercalações de unidades detríticas (Kullberg *et al.*, 2006a), datadas, essencialmente, do Jurássico. O complexo contexto tectónico e a diversidade litológica existente na Arrábida levaram à formação de uma paisagem marcada pelas formas de relevo tectónicas/estruturais (Fonseca *et al.*, 2014).

A norte da Arrábida continua o domínio das formas estruturais, em que a estrutura monoclinial, cujas camadas apresentam uma inclinação para norte, deu origem a uma faixa quase contínua de costeiras bem desenvolvidas desde Vila Nogueira de Azeitão (Alto da Madalena) até Palmela (serra do Louro) (Ramos-Pereira, 2003). Saliente-se que, para oriente (junto de Palmela), a inclinação das camadas é superior, atingindo valores superiores a 30°, e, por isso, os relevos são considerados *hog-backs*. Os seus reversos atingem valores na ordem dos 200 metros de altitude, contrastados pelas depressões ortoclinais, onde escoam os principais cursos de água desta área (Alcoforado *et al.*, 1993).

O outro elemento que condiciona a organização estrutural da Península de Setúbal é o sinclinal de Albufeira. Com o eixo localizado a norte da lagoa de Albufeira, este sinclinal Miocénico formou-se aquando das últimas deformações da Arrábida (Ribeiro, 1968) e afecta formações do Miocénico, Pliocénico e Quaternário. A lagoa de Albufeira é, assim, outro dos elementos mais relevantes na paisagem litoral da AML Sul (figura 1.4). Trata-se de uma laguna costeira separada do oceano Atlântico por uma barra de maré, possuindo uma orientação SW-NE e uma área de 1,3 km² (Freitas, 1995; Duarte, 2012).

Tal como na AML Norte, e possuindo uma génese semelhante, encontram-se formas independentes da estrutura, como as plataformas litorais de Belverde e do Cabo (figura 1.4). A primeira estende-se entre o rio Tejo e a lagoa de Albufeira, sendo interrompida de forma brusca a ocidente pela arriba fóssil da Costa da Caparica, uma vertente escarpada de orientação N-S e de traçado rectilíneo que já não evolui pela acção do mar (Ramos-Pereira, 1988). Todavia, a largura da planície litoral (que se estende desde a base da arriba até ao oceano) vai diminuindo de norte para sul, até se limitar a praia, o que significa que, a sul da Fonte da Telha, a arriba torna-se, na verdade, uma arriba viva (Ramos-Pereira, 1988). Também o comando desta vertente costeira diminui progressivamente de norte para sul. Refira-se que o troço entre a Trafaria e a praia das Bicas (a sul da lagoa de Albufeira) é a maior extensão de areal da AML.

A plataforma do Cabo desenvolve-se entre o cabo Espichel e a cadeia da Arrábida. Importa relembrar que a parte oriental daquela cadeia foi mais levantada por acção da tectónica e, como tal, não foi arrasada pela acção do mar, como acontece na área ocidental, onde se localiza o cabo Espichel (Ramos-Pereira, 1988).

Na margem esquerda do estuário do Tejo, as condições hidrodinâmicas são propícias à deposição de sedimentos finos e, consequentemente, à formação de sapais. Porém, a actividade de ondas de geração local em alguns locais do estuário levaram à formação e manutenção de praias e restingas de areia em alguns locais: Montijo, Barreiro e Seixal (Freire, 1999). O melhor exemplo é a restinga do Alfeite, levando à formação da baía do Seixal (figura 1.4), local onde se verifica um ambiente de baixa energia favorável ao desenvolvimento de sapais (exemplo: sapal de Corroios). Os canais de maré, correspondentes aos sectores terminais de algumas bacias hidrográficas (exemplo: rio Judeu), são meandrizados e pouco profundos, estando muito assoreados.

Ao contrário da AML Norte, a AML Sul é uma região muito importante no contexto dos recursos subterrâneos. Na margem esquerda do Tejo encontra-se a área mais produtiva em Portugal (aquífero BT 3), cujas reservas extraíveis (68.960 hm^3) correspondem a mais de metade do total nacional e cuja recarga potencial é superior a $2000 \text{ hm}^3/\text{ano}$ (Ferreira *et al.*, 1995; Ramos, 2005). A elevada produtividade das toilhas aquíferas que compõem a bacia sedimentar do Tejo-Sado deve-se a dois factores: 1) a existência de centenas de metros de sedimentos arenosos e argilosos intercalados, provocando a sobreposição de vários aquíferos porosos; e 2) a posição deprimida desta unidade hidrogeológica face à Orla Mesoceno-zóica Ocidental e ao Maciço Antigo, o que favorece a convergência e concentração das águas no seu interior (Ramos, 2005).

1.2.6. Factores condicionantes permanentes das cheias/inundações

Através da caracterização da AML Norte e AML Sul percebe-se que são sub-regiões muito distintas do ponto de vista físico. Os contrastes entre os dois territórios dão origem, por sua vez, a comportamentos hidrológicos diferentes quando ocorrem episódios de precipitação.

É possível dizer que as condições naturais da AML Norte tornam este território mais susceptível a cheias/inundações em comparação com a AML Sul. Mais de metade do território da AML Norte está acima de 100 m de altitude, enquanto na AML Sul predominam as altitudes inferiores a 50 m (tabela 1.4). Os declives são um factor ainda mais importante do que a altitude, uma vez que a velocidade e a energia cinética do escoamento superficial são maioritariamente condicionadas pela inclinação. As diferenças entre as duas sub-regiões são ainda mais notórias nesta componente. Os declives cifram-se entre 0 e 5° em 90% da superfície da AML Sul, enquanto mais de 60% do território da AML Norte apresenta valores acima dos 5° (tabela 1.5).

Tabela 1.4 Importância (%) das classes de altitude na AML.

Região	Classes de altitude					
	≤ 50 m	51 – 100 m	101 – 200 m	201 – 300 m	301 – 400 m	> 400 m
AML Norte	23,8%	19,4%	37,6%	16,0%	2,8%	0,4%
AML Sul	56,5%	32,9%	9,2%	1,0%	0,3%	0,1%
AML	41,3%	26,6%	22,4%	8,0%	1,5%	0,2%

Tabela 1.5 Importância (%) das classes de declive na AML.

Região	Classes de declive			
	0 – 5°	5 – 15°	15 – 25°	> 25°
AML Norte	57%	33%	8%	2%
AML Sul	90%	8%	2%	1%
AML	74%	19%	5%	1%

Como se sabe, os fenómenos naturais não se cingem às unidades administrativas. Por exemplo, um curso de água pode estender-se por diversos municípios, regiões ou até países. Como tal, no âmbito das cheias rápidas, mais do que somente representar e caracterizar a AML, importa considerar a totalidade da área das bacias hidrográficas que drenam esta região. Ainda assim, a representação cartográfica dos declives, litologia e solos englobará a superfície ocupada pela AML e pelas suas bacias hidrográficas.

A AML é drenada por 68 bacias hidrográficas de pequena e média dimensão (área igual ou superior a 2 km²) que desaguam nos sectores terminais dos rios Tejo, Sorraia e Sado ou no oceano Atlântico (figura 1.6 e tabela 1.6). No seu conjunto, estas totalizam 2537 km², correspondendo a 85% da área total da AML. 11 dessas bacias hidrográficas excedem os limites administrativos da AML, o que significa que a área total das 68 bacias é, na verdade, de 4462 km².

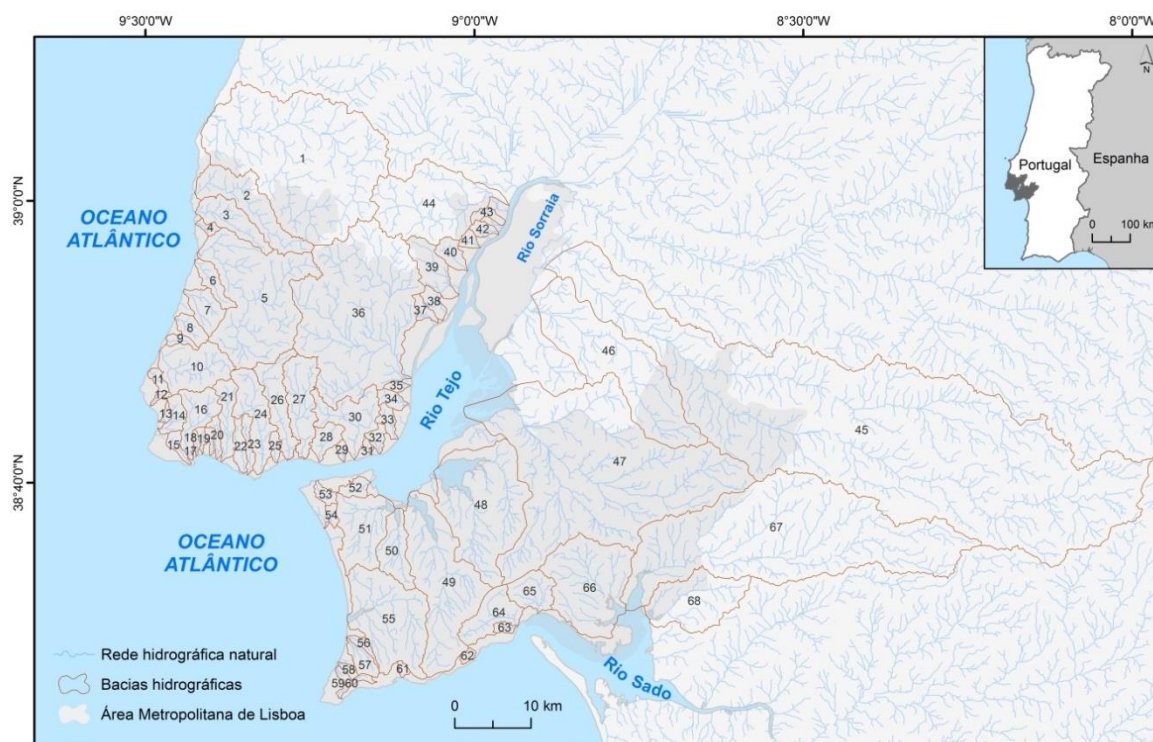


Figura 1.6 Bacias hidrográficas da AML.

Nota: Os números associados às bacias hidrográficas podem ser vistos na tabela 1.6.

Tabela 1.6 Bacias hidrográficas da AML e as respectivas áreas.

Nº	Nome	Área total (km ²)	Área na AML (km ²)	Nº	Nome	Área total (km ²)	Área na AML (km ²)
1	Sizandro	334,4	57,1	35	Portela	3,3	3,3
2	Safarujo	59,3	59,3	36	Trancão	287,9	255,5
3	Cuco	30,9	30,9	37	Caníços	5,7	5,7
4	Fonte Boa	3,5	3,5	38	Verdelha	8,0	8,0
5	Lizandro	168,0	168,0	39	Silveira/Crós-Cós	26,8	25,4
6	Falcão	13,7	13,7	40	Santo António	11,2	11,1
7	Bolelas	19,3	19,3	41	Santa Sofia	4,4	4,4
8	Mata	10,6	10,6	42	Povos	5,2	5,2
9	Cameijo	4,5	4,5	43	Castanheira	5,3	5,3
10	Colares	50,3	50,3	44	Grande da Pipa	117,9	16,0
11	Maceira	4,6	4,6	45	Santo Estêvão	1099,3	151,6
12	Mata (ribeira)	2,3	2,3	46	Vale Cobrão	178,7	55,7
13	Arneiro	2,3	2,3	47	Alcochete	488,7	413,8
14	Foz do Guincho	10,6	10,6	48	Vala Manique	157,5	157,5
15	Mochos	5,9	5,9	49	Coína	141,8	141,8
16	Vinhas	26,7	26,7	50	Judeu	30,6	30,6
17	Castelhana	2,0	2,0	51	Corroios	55,7	55,7
18	Monte Estoril	2,9	2,9	52	Caramujo	7,6	7,6
19	Cadaveira	3,0	3,0	53	Caneira	5,5	5,5
20	Bicesse	5,4	5,4	54	Foz do Rêgo	3,8	3,8
21	Caparide	20,5	20,5	55	Apostiça	106,7	106,7
22	Marianas	9,4	9,4	56	Alfarim	4,6	4,6
23	Sassoeiros	7,5	7,5	57	Meco	10,9	10,9
24	Laje	41,2	41,2	58	Crieira	2,9	2,9
25	Porto Salvo	4,5	4,5	59	Lajes	2,7	2,7
26	Barcarena	34,8	34,8	60	Mareta	4,0	4,0
27	Jamor	44,1	44,1	61	Sesimbra	2,2	2,2
28	Algés	12,8	12,8	62	Alpertuche	2,7	2,7
29	Ajuda	2,7	2,7	63	Rasca	3,5	3,5
30	Alcântara	41,7	41,7	64	Comenda	32,4	32,4
31	Estrela	1,8	1,8	65	Livramento	24,6	24,6
32	Baixa Lisboa	6,0	6,0	66	Esteiro Carvão	112,7	112,7
33	Chelas	7,3	7,3	67	Marateca	431,8	97,8
34	Parque das Nações	7,1	7,1	68	Vale de Cão	73,7	23,6

A AML Norte é drenada por 44 bacias, cuja área média é de 34 km², sendo a bacia do rio Sizandro a de maior dimensão com 334 km² (tabelas 1.6 e 1.7). A AML Sul é drenada por 24 bacias hidrográficas, com uma dimensão média de 124 km², sendo a bacia da ribeira de Santo Estêvão a mais extensa com 1099 km² (tabelas 1.6 e 1.7).

A menor dimensão global das bacias da AML Norte faz com que os seus tempos de concentração e de resposta sejam inferiores aos da maioria das bacias da AML Sul (tabela 1.7). O tempo de concentração médio das bacias da AML Norte (3h32m) é inferior em quase 2 horas ao das bacias da AML Sul (5h26m). Isto significa que a perigosidade às cheias rápidas é mais elevada nas bacias da AML Norte porque o tempo útil para o alerta e auxílio às populações afectadas é menor.

Para além da área, também os declives são fundamentais na explicação dos tempos de concentração das bacias hidrográficas. As inclinações acentuadas das vertentes da serra de Sintra e dos anversos das costeiras Odivelas-Vialonga e Lousa-Bucelas (figuras 1.4 e 1.7) contribuem decisivamente para as elevadas velocidades atingidas pelo escoamento superficial em diversas bacias da AML Norte. Na AML Sul as bacias são menos declivosas, excepto aquelas que drenam para sul da cadeia da Arrábida, como Alpertuche, Rasca e Comenda (figuras 1.4 e 1.7).

Os resultados dos indicadores relativos ao relevo presentes na tabela 1.7 confirmaram que as características físicas da maioria das bacias hidrográficas da AML Norte favorecem a ocorrência de cheias rápidas, ao contrário do que sucede na AML Sul. Constatou-se que os valores médios de amplitude altimétrica (D), altitude média (Z), declive médio (S) e inclinação do curso de água principal (I) são superiores nas bacias da AML Norte.

Tabela 1.7 Indicadores referentes às características físicas das bacias hidrográficas da AML Norte e AML Sul.

Sub-região		A (km ²)	D (m)	Z (m)	S (°)	I (m/km)	Tc (h:mm)
AML Norte	Média	34	279	142	7,1	32,7	3:32
	Máximo	334	528	299	15,5	119,2	15:00
	Mínimo	2	103	50	1,6	4,9	0:59
AML Sul	Média	124	247	93	1,8	28,0	5:26
	Máximo	1099	501	264	20,0	135,2	28:14
	Mínimo	2	82	22	0,3	2,4	0:55

A – área; D – amplitude altimétrica; Z – altitude média; S – declive médio; I – inclinação média do curso de água principal; Tc – tempo de concentração.

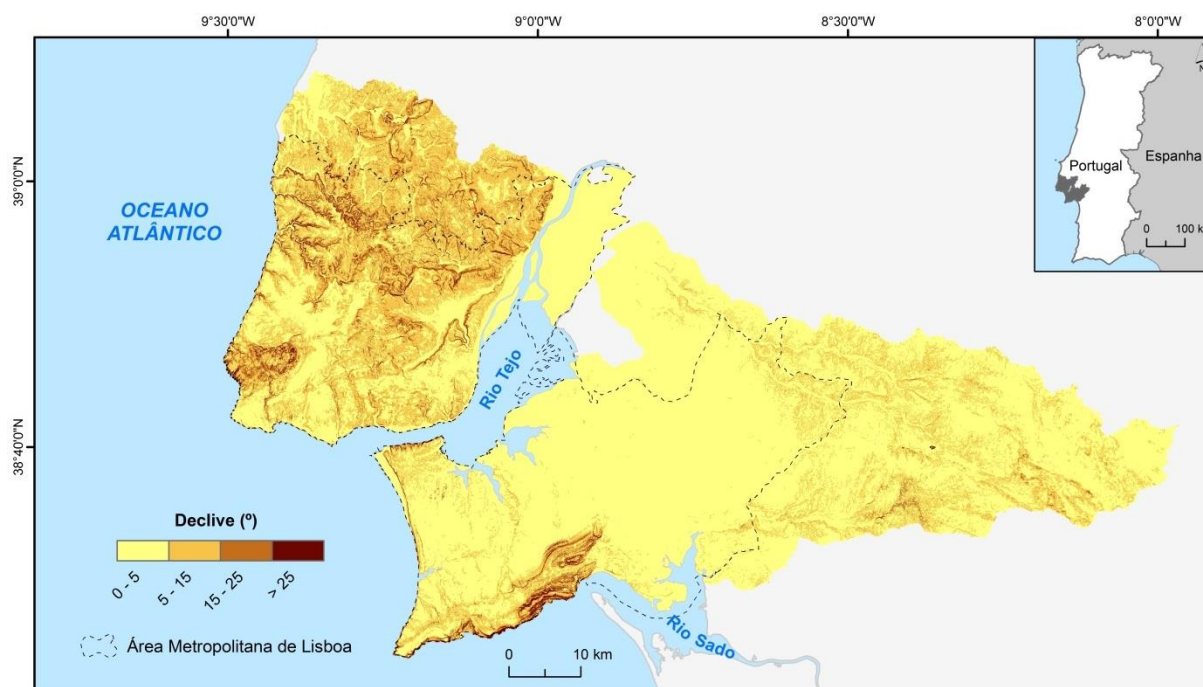


Figura 1.7 Declives da AML e das suas bacias hidrográficas.

Como se sabe, a permeabilidade dos terrenos é um factor essencial na formação do escoamento superficial que, por sua vez, é um elemento determinante para o incremento da magnitude dos caudais de ponta de cheia. No que diz respeito ao substrato geológico, as formações sedimentares carbonatadas, magmáticas e metamórficas tendem a apresentar graus de permeabilidade menores do que as formações detríticas e os depósitos superficiais de textura grosseira. As bacias hidrográficas que drenam a AML Norte são maioritariamente compostas por formações de permeabilidade média a muito baixa. Destacam-se as rochas sedimentares plásticas (54%), como margas e argilas, as formações vulcânicas (11%), nomeadamente do Complexo Vulcânico de Lisboa, e as rochas carbonatadas compactas (10%), como calcários e dolomitos (figuras 1.8 e 1.9). Nas bacias AML Sul dominam as rochas sedimentares detríticas (46%), como arenitos e conglomerados, e os depósitos superficiais (29%), como aluviões, dunas, terraços e outras formações arenosas e cascalhentas (figuras 1.8 e 1.9). As excepções são as rochas sedimentares plásticas e carbonatadas compactas que afloram no concelho de Almada e na cadeia da Arrábida, assim como as rochas metamórficas, graníticas e vulcânicas nos sectores montante das bacias das ribeiras de Santo Estêvão e da Marateca, onde o contacto entre a Bacia Cenozóica do Tejo-Sado e o Maciço Antigo é bem evidente (figura 1.8).

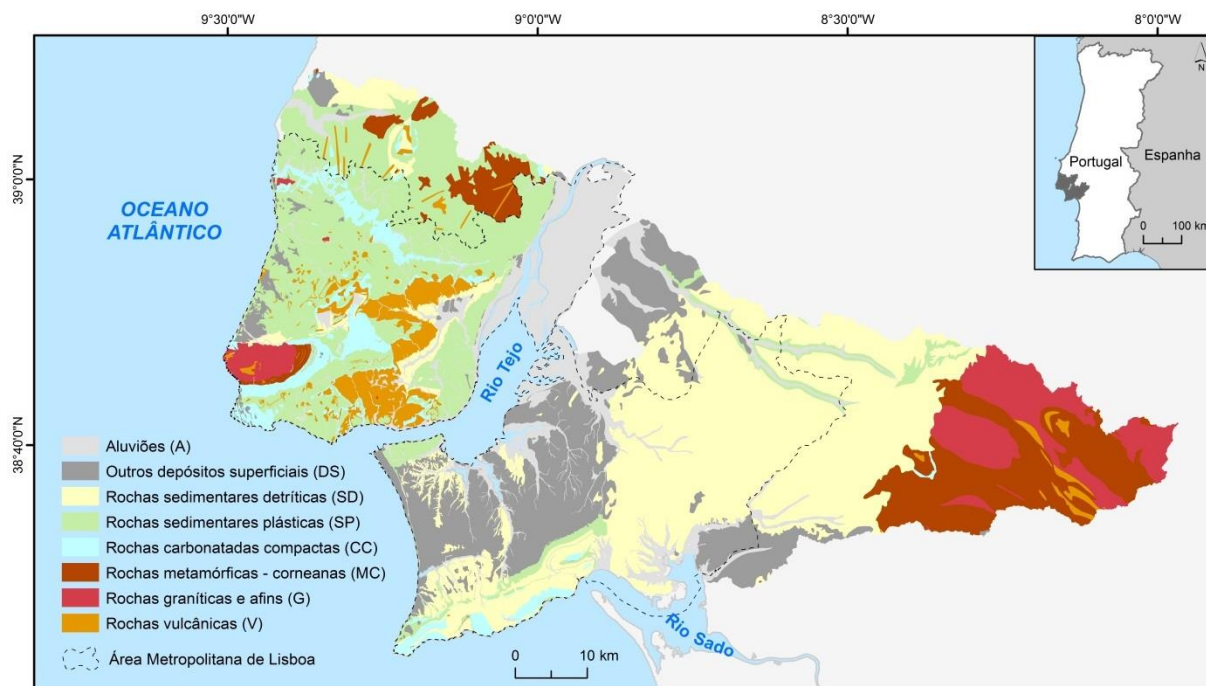


Figura 1.8 Litologia da AML e das suas bacias hidrográficas.
Fonte: Carta Geológica de Portugal, 1:25 000, LNEG.

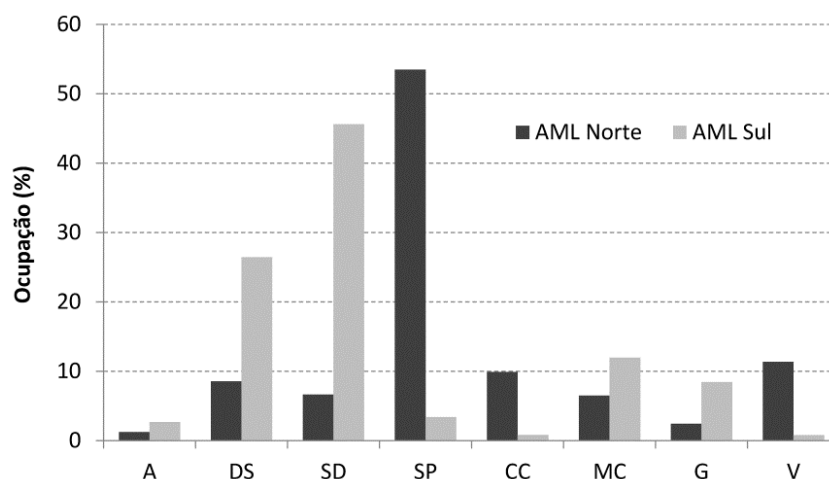


Figura 1.9 Frequência (%) das litologias nas bacias hidrográficas da AML Norte e da AML Sul.
Nota: para o significado das siglas, consultar a legenda da figura 1.8.

O solo é outro dos factores que condiciona a permeabilidade. Na AML, os solos são pouco espessos e resultam sobretudo da desagregação do substrato geológico subjacente, ou seja, as suas características são semelhantes às rochas que lhes deram origem. Daqui resulta que o grau de permeabilidade da maioria dos solos das bacias da AML Norte é menor em comparação com o dos solos que compõem as bacias da AML Sul. Os solos calcários (40%), argiluvitados (19%) e litólicos (17%) ocupam cerca de 3/4 da superfície das bacias da AML Norte (figuras 1.10 e 1.11). Na AML Sul, dominam os solos arenosos, com os podzóis (31%), os solos litólicos (28%) e os regossolos (8%) a ocuparem cerca de 2/3 da área das suas bacias hidrográficas (figuras 1.10 e 1.11). Também os solos

argiluvitados são relevantes neste contexto (20%), embora surjam essencialmente nos terrenos do Maciço Antigo (figura 1.10).

A partir do tipo hidrológico de solo é possível compreender melhor o contraste norte-sul da permeabilidade dos terrenos (figuras 1.12). No conjunto das bacias hidrográficas que drenam a AML, o tipo A ocupa 36%, o tipo B 26%, o tipo C 4% e o tipo D 34% do território. No entanto, o tipo A (maior permeabilidade) representa 48% nas bacias da AML Sul, enquanto nas bacias da AML Norte representa apenas 12%. Pelo contrário, o tipo D (menor permeabilidade) atinge 51% nas bacias da AML Norte e apenas 26% nas bacias da AML Sul.

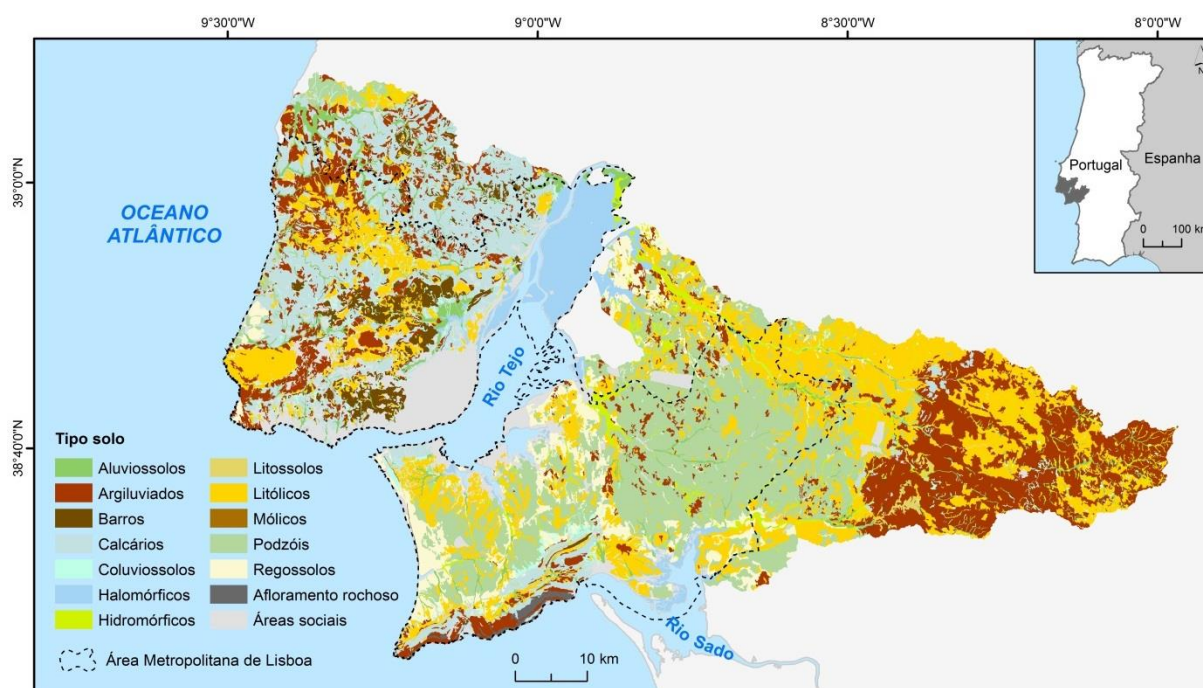


Figura 1.10 Tipo de solos da AML e das suas bacias hidrográficas.

Fonte: Carta dos Solos de Portugal, 1:25 000, DGADR.

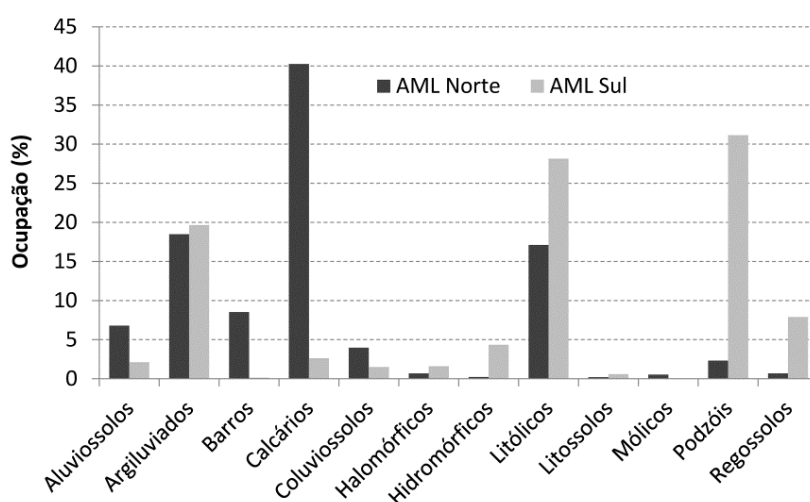


Figura 1.11 Frequência (%) dos tipos de solos nas bacias hidrográficas da AML Norte e da AML Sul.

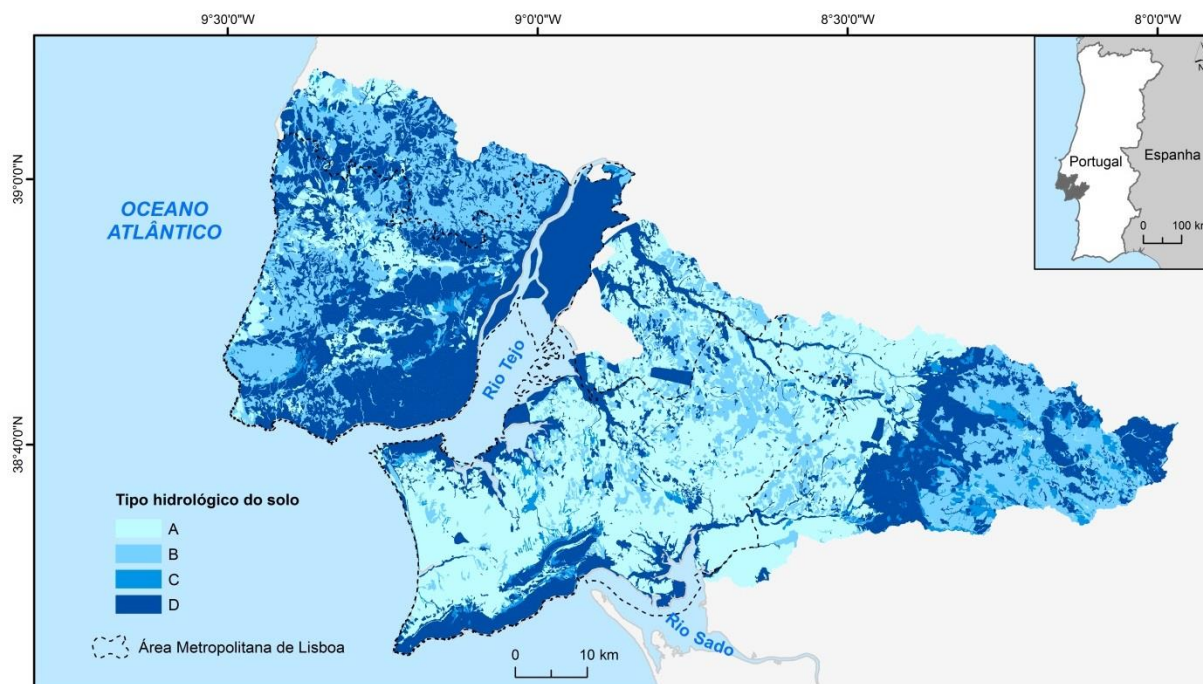


Figura 1.12 Distribuição espacial dos tipos hidrológicos de solo nas bacias hidrográficas da AML Norte e da AML Sul.

1.3. OCUPAÇÃO DO SOLO

1.3.1. Distribuição espacial e evolução temporal da ocupação do solo

Pode pensar-se que a AML é, na actualidade, uma região maioritariamente edificada. Porém, não se pode esquecer que a AML possui uma superfície superior a 3000 km² e que é constituída por 18 municípios com características diferentes. Embora o seu cariz cada vez mais urbano, em 2010 as áreas florestais (39%) e agrícolas (33%) ainda eram predominantes face às áreas edificadas (20%) (figura 1.13). A fracção restante do território da AML cabe às zonas húmidas (2%) e aos corpos de água (6%) (figura 1.13).

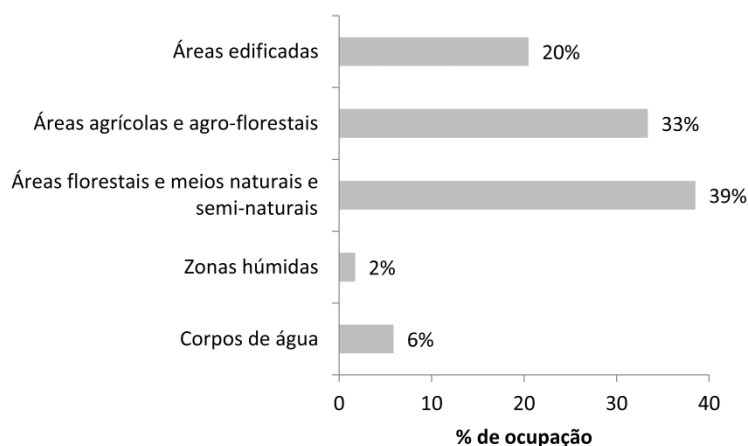


Figura 1.13 Frequência (%) das classes de ocupação do solo na AML em 2010.

O contraste espacial existente entre a AML Norte e a AML Sul é evidente (tabela 1.8 e figura 1.14). Em 2010, 27% do território da AML Norte correspondia a áreas edificadas, ou seja, 61% do total das áreas edificadas existentes na AML. Por seu turno, a AML Sul possuía apenas 15% do seu território ocupado por áreas edificadas. No que diz respeito às restantes classes de ocupação do solo:

- 1) as áreas agrícolas detinham quase a mesma importância na AML Norte (33%) e na AML Sul (34%);
- 2) as áreas florestais ocupavam 43% do território da AML Sul, em contraste com os 34% da AML Norte; e
- 3) as zonas húmidas e os corpos de água também possuíam maior relevância na AML Sul (tabela 1.8). Em resumo, a AML Norte é uma sub-região mais urbanizada e a AML Sul assume uma maior componente natural, em que o conjunto formado pelas áreas florestais, zonas húmidas e corpos de água totalizavam, em 2010, mais de metade do seu território.

Tabela 1.8 Importância das classes de ocupação do solo na AML.

	Áreas edificadas		Áreas agrícolas		Áreas florestais		Zonas húmidas		Corpos de água		Total	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
AML Norte	376,9	27	466,4	34	465,3	34	13,1	1	54,9	4	1376,7	100
AML Sul	237,9	15	535,4	33	691,0	43	39,0	2	121,9	8	1625,2	100
AML	614,8	20	1001,8	33	1156,3	39	52,2	2	176,9	6	3001,9	100

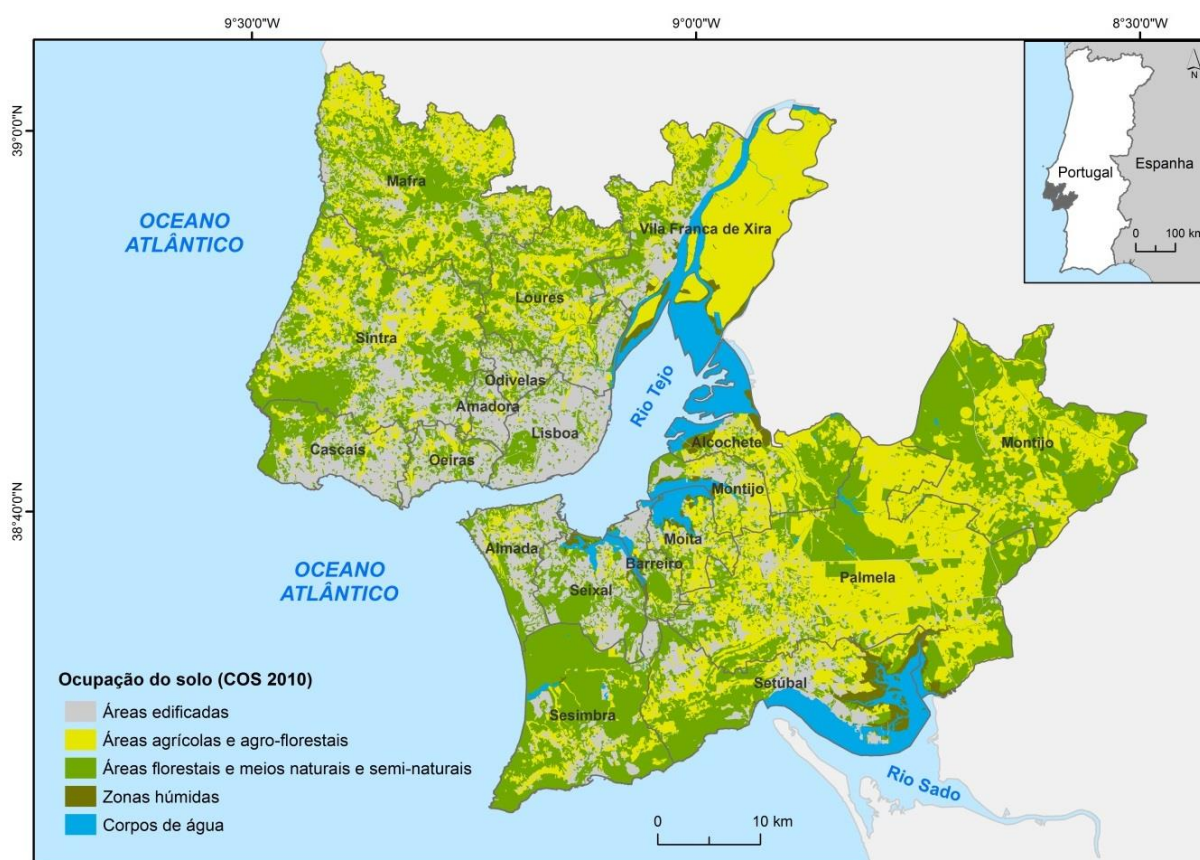


Figura 1.14 Distribuição espacial da ocupação do solo na AML em 2010.

Aumentando a escala de análise, confirma-se que Lisboa é o principal núcleo de crescimento urbano na AML. Em 2010, 74% do seu território estava ocupado por áreas edificadas, aos quais se seguiam três dos seus quatro concelhos limítrofes: Amadora (67%), Oeiras (59%) e Odivelas (59%) (figura 1.15). Destaque ainda para Cascais com 51%, Almada com 50% e Seixal com 42% (figura 1.15). Observa-se então um padrão em que a importância das áreas edificadas tende a diminuir à medida que a distância ao município de Lisboa aumenta (figura 1.14). O peso das áreas agrícolas e/ou florestais é maior em Alcochete, Montijo, Palmela, Vila Franca de Xira, Sesimbra, Mafra e Setúbal (figura 1.15).

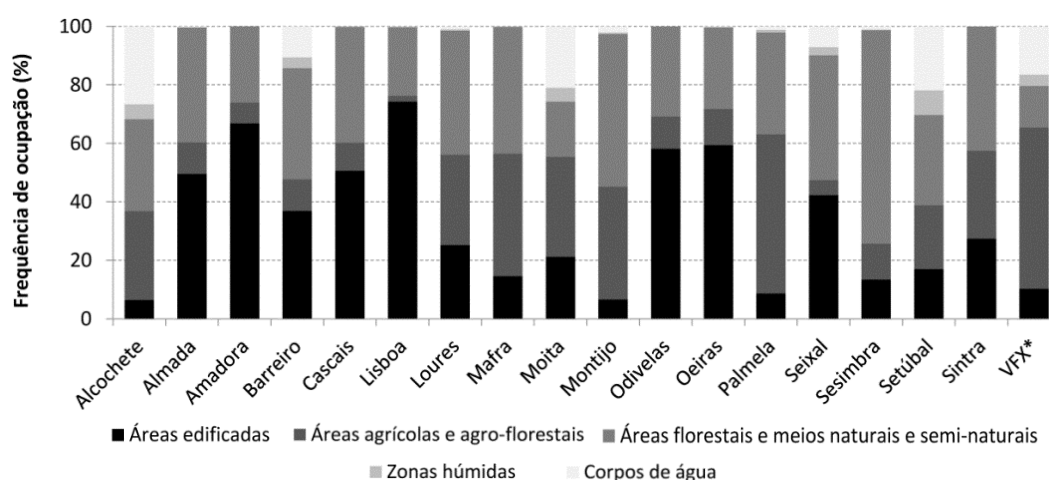


Figura 1.15 Frequência (%) de ocupação do solo nos municípios da AML em 2010.

* VFX – Vila Franca de Xira.

Como foi dito no ponto 1.1, a evolução da ocupação do solo foi realizada com recurso ao CLC 1990 e 2012, cuja escala é menor e a unidade mínima cartográfica é maior em comparação com a COS, o que se traduz numa maior generalização da representação cartográfica. Por outro lado, o número de componentes que compõe as cinco classes de ocupação do solo e os critérios de classificação utilizados variam entre as duas fontes de informação. Isto traduz-se num desfazamento entre os resultados obtidos através da COS e do CLC, tal como é notório nas diferenças percentuais das áreas agrícolas e das áreas florestais em 2010 (COS) e 2012 (CLC) (figuras 1.13 e 1.16). Como os resultados das duas fontes de informação não são comparáveis, o recurso ao CLC serviu apenas para compreender como se processou a evolução da ocupação do solo ao longo do tempo (22 anos entre 1990 e 2012). Aí constatou-se que o incremento das áreas edificadas (de 15 para 22%) se fez à custa das áreas agrícolas e das áreas florestais (figura 1.16). A tendência de crescimento urbano verificada neste período traduz-se numa maior exposição às inundações urbanas. Por outro lado, a expansão das áreas impermeabilizadas pode conduzir ao incremento da magnitude e frequência deste tipo de inundações e também das cheias rápidas (Smith e Ward, 1998; Butler e Davies, 2004).

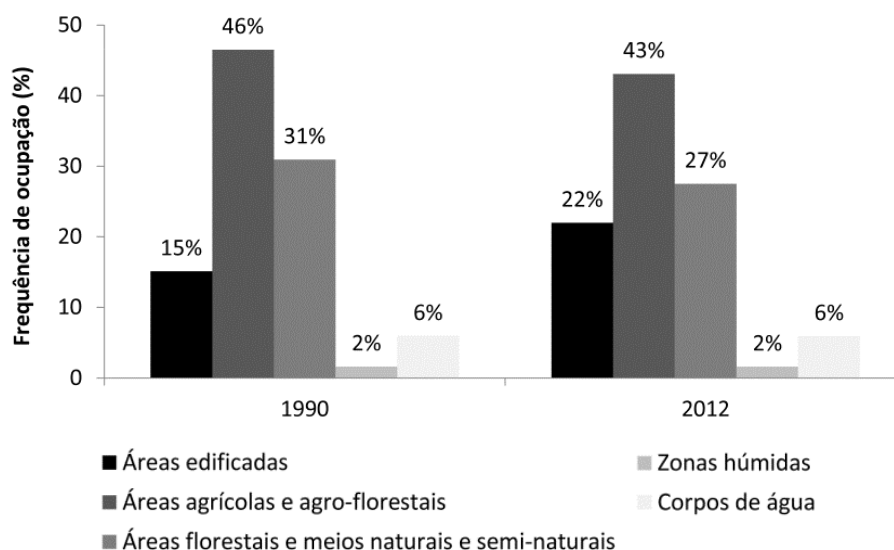


Figura 1.16 Evolução da ocupação do solo na AML entre 1990 e 2012.

Entre 1990 e 2012 assistiu-se a uma expansão das áreas edificadas em toda a AML (figuras 1.17a e 1.17b), verificando-se aumentos na importância destas áreas em todos os municípios (figura 1.18a). Amadora e Oeiras foram os concelhos que mais se destacaram, cujas áreas edificadas em 2012 passaram a representar mais 26% e 24% dos respectivos totais (figura 1.18a). Já Cascais (16%), Seixal (15%), Almada (14%), Odivelas (12%) e Sintra (10%) constituíram a segunda linha dos municípios em que as áreas edificadas mais cresceram (figura 1.18a). Os que o crescimento foi menos notório foram Alcochete (2%) e Montijo (1%) (figura 1.18a). Estes valores reflectem a expansão da mancha das áreas edificadas visível nas figuras 1.17a e 1.17b, cujo ritmo continuou a ser mais acelerado na AML Norte (mais 9% do total) do que na AML Sul (mais 5% do total).

O incremento das áreas edificadas deu-se à custa tanto das áreas agrícolas, como das áreas florestais. De forma genérica, existiu uma perda de representação destas duas classes em quase toda a AML entre 1990 e 2012 (figuras 1.18b, 1.18c). As únicas excepções foram Loures, Montijo e Palmela, cujas áreas agrícolas registaram pequenos aumentos, e Oeiras, em que as áreas florestais cresceram. Quanto às áreas agrícolas, as maiores perdas ocorreram em Oeiras (25%) e na Amadora (15%) (figuras 1.18b e 1.18c), que foram os municípios com os maiores crescimentos no que concerne às áreas edificadas. No que diz respeito às áreas florestais, os concelhos com maiores decréscimos foram Amadora (11%), Seixal (9%) e Loures (8%) (figuras 1.18b e 1.18c).

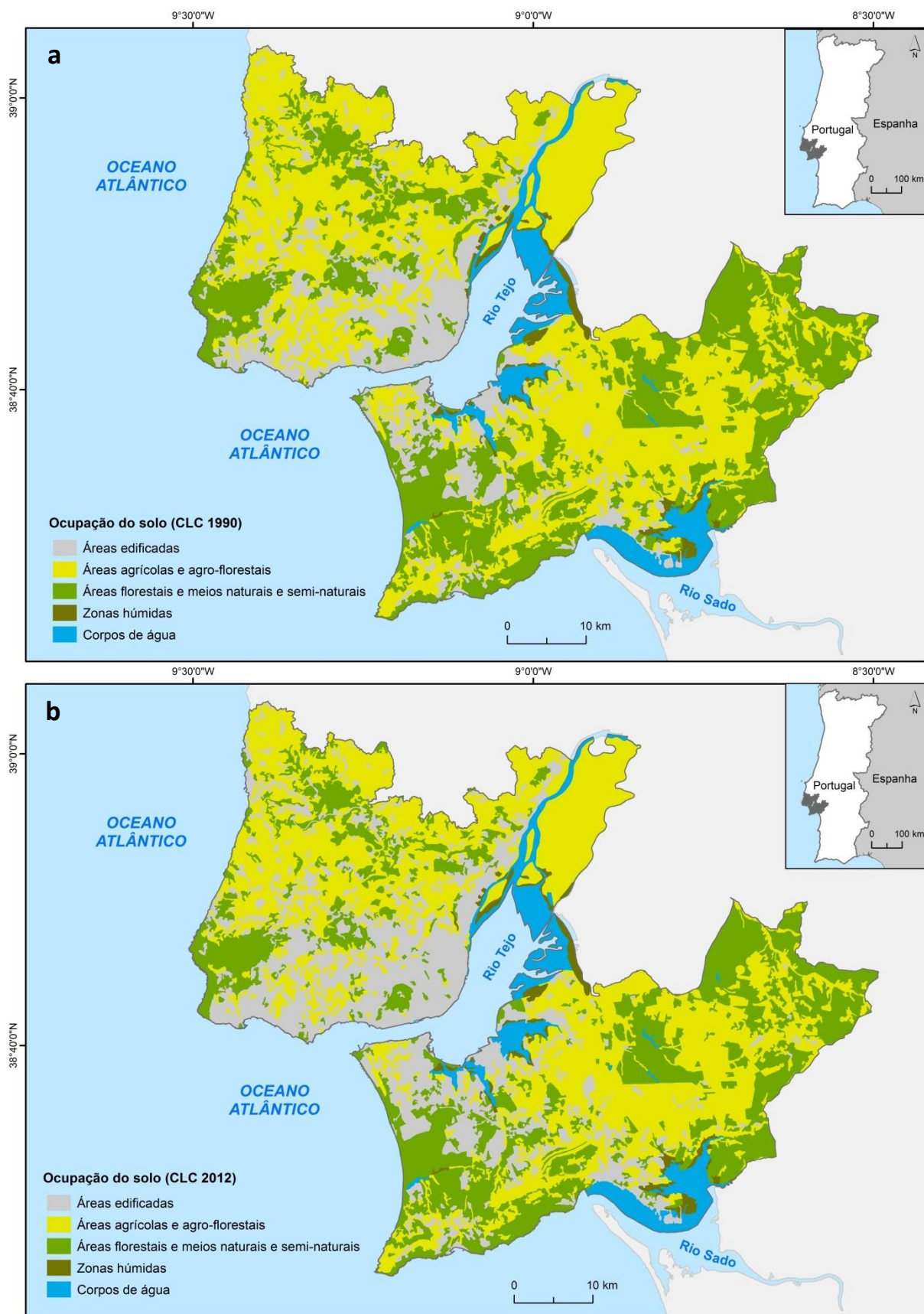


Figura 1.17 Distribuição espacial da ocupação do solo na AML em 1990 **(a)** e 2012 **(b)**.

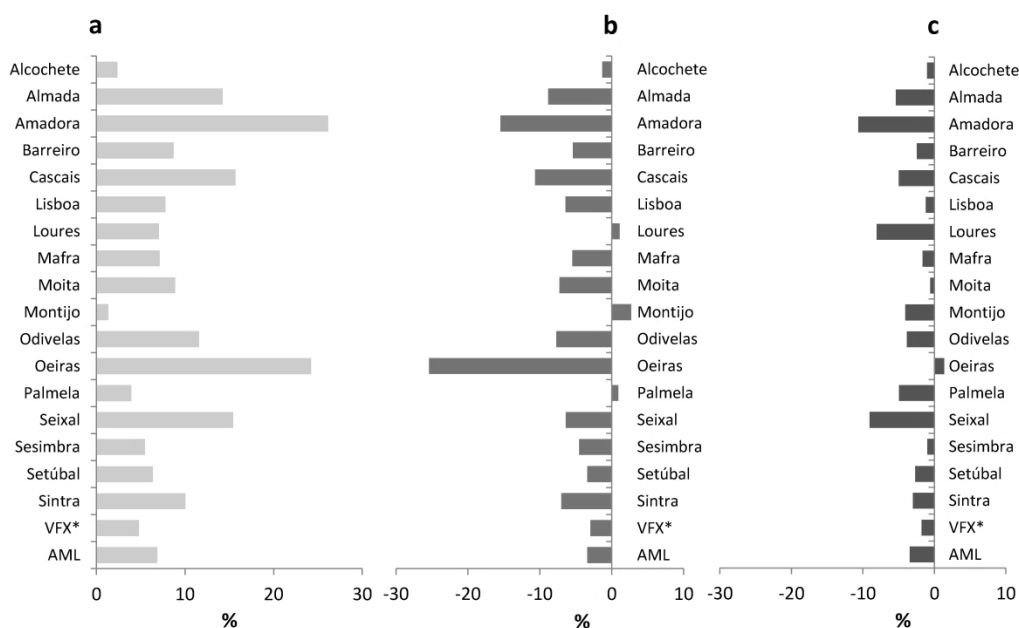


Figura 1.18 Diferenças (%) nas áreas edificadas **(a)**, nas áreas agrícolas e agro-florestais **(b)** e nas áreas florestais e meios naturais e semi-naturais **(c)** entre 1990 e 2012.

* VFX - Vila Franca de Xira.

1.3.2. Factores condicionantes variáveis das cheias/inundações

Para além do retrato da ocupação do solo nos municípios da AML, importa também compreender quais as bacias hidrográficas mais impermeabilizadas, pois o efeito da impermeabilização dos terrenos é determinante no âmbito das cheias rápidas e inundações urbanas. No fundo, a ocupação do solo e o grau de impermeabilização imposto pela acção antrópica representam os factores condicionantes variáveis das cheias/inundações. Tendo em conta o mosaico da ocupação do solo na AML, as bacias possuem realidades muito diferentes. Se, por um lado, existe um conjunto de bacias localizadas no concelho de Lisboa e nos municípios mais próximos que são, maioritariamente, compostas por áreas edificadas, por outro, nas bacias dos concelhos mais rurais o grau de impermeabilização é residual (figura 1.19).

São quatro as bacias cujas áreas edificadas ocupavam, em 2010, mais de 80% da sua superfície: Portela (93%), Baixa Lisboa (91%), Estrela (91%) e Parque das Nações (88%) (figura 1.19). A primeira situa-se no concelho de Loures e as restantes no de Lisboa. Seguiu-se um grupo de bacias em que, apesar de a impermeabilização não ser tão massiva, continuava a ser muito significativa, com valores a variar entre 60 e 80%: Castelhana (79%), Alcântara (73%), Mochos (73%), Marianas (72%), Sassoeiros (72%), Monte Estoril (69%), Chelas (69%), Bicesse (68%), Cadaveira (67%) e Caramujo (67%) (figura 1.19). Com excepção de Alcântara (42 km²), todas as bacias que compõem estes dois conjuntos têm dimensões muito reduzidas, sempre inferiores a 10 km², estando situadas na faixa de maior densidade do edificado (figura 1.14). Outra excepção que importa referenciar é a bacia do Caramujo (Almada), por ser a única das referidas que se situa na AML Sul. Num patamar

inferior em termos de impermeabilização surge um outro grupo de bacias situadas no mesmo enquadramento geográfico, mas onde já surgem bacias cuja área ultrapassa a dezena de km². São os casos da Laje, Corroios, Barcarena ou Jamor, em que as áreas edificadas se cifram entre 40 e 60% (figura 1.19). Isto acontece porque os seus sectores montante se encontram em áreas em que a urbanização é mais dispersa, subsistindo áreas de índole agrícola e/ou florestal.

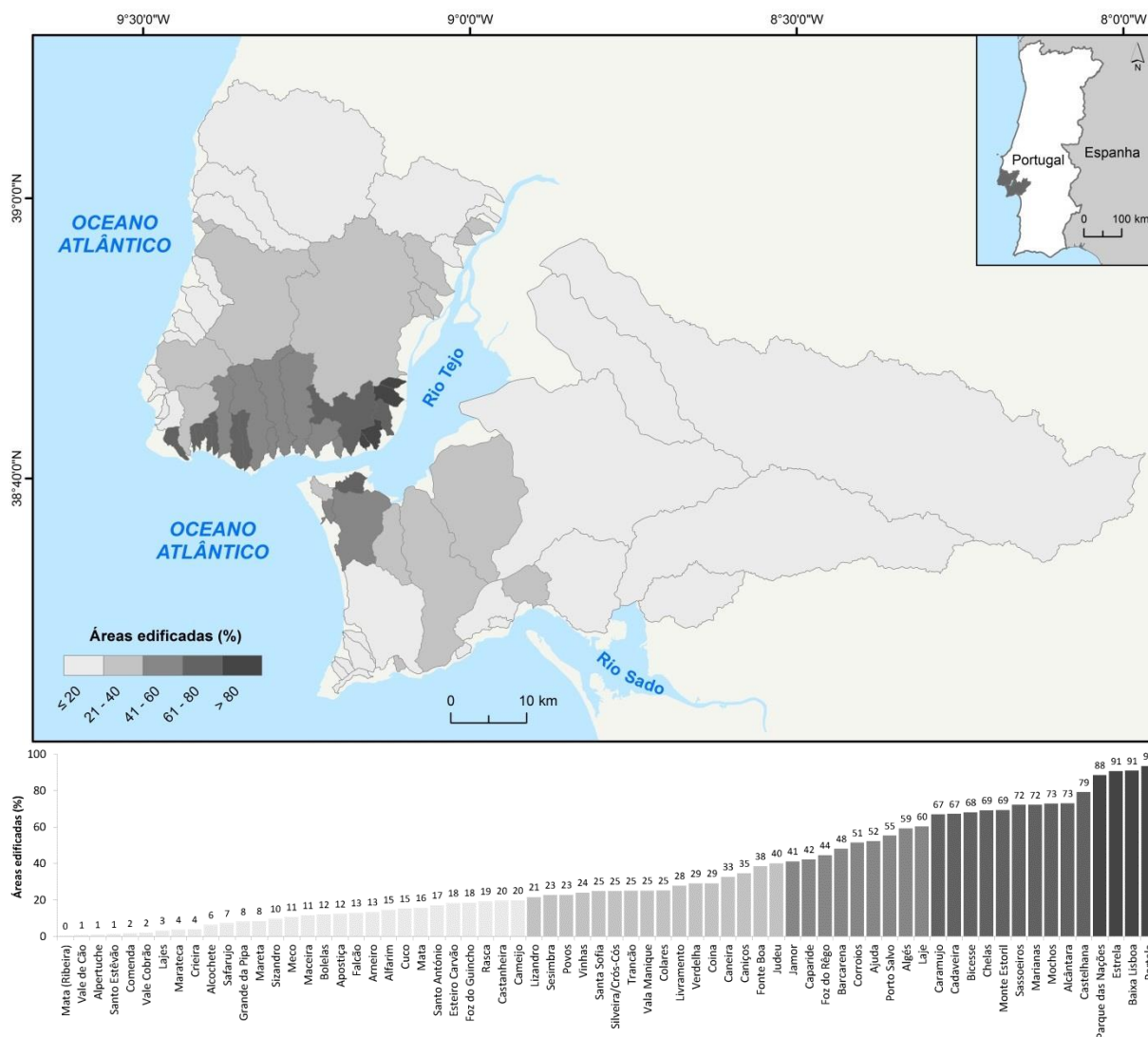


Figura 1.19 Áreas edificadas (%) nas bacias hidrográficas da AML em 2010.

A conjugação entre as características naturais (tipo hidrológico de solo) e antrópicas (ocupação do solo) do território permite estimar o grau de permeabilidade através do *curve number* (CN). Os resultados obtidos apontam no mesmo sentido dos apresentados anteriormente, ou seja, as bacias hidrográficas da AML Norte tendem a ser menos permeáveis do que as da AML Sul (tabela 1.9 e figura 1.20), resultando num agravamento do volume e da velocidade do escoamento superficial quando ocorrem precipitações intensas. Os valores médios do CN são de 75,9 para AMC II e de 87,9

para AMC III nas bacias da AML Norte, enquanto na AML Sul os valores são de 62,9 para AMC II e de 79,6 para AMC III. O CN mais elevado foi obtido para a bacia da Baixa Lisboa (94,5 para AMC II e 97,5 para AMC III), isto é, trata-se de uma bacia quase impermeável. A sul do Tejo, a bacia do Caramujo é a que regista o maior grau de impermeabilização (84,5 para AMC II e 92,6 para AMC III). Relembre-se que esta bacia possui a maior superfície (relativa) ocupada por áreas edificadas das que drenam a AML Sul (figura 1.19).

Tabela 1.9 Valores do *curve number* para AMC II e AMC III nas bacias hidrográficas da AML Norte e AML Sul.

Região	Curve number (CN)					
	AMC II			AMC III		
	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo
AML Norte	75,9	94,5	51,2	87,9	97,5	70,7
AML Sul	62,9	84,5	38,8	79,6	92,6	59,3
AML	67,2	94,5	38,2	82,5	97,5	59,3

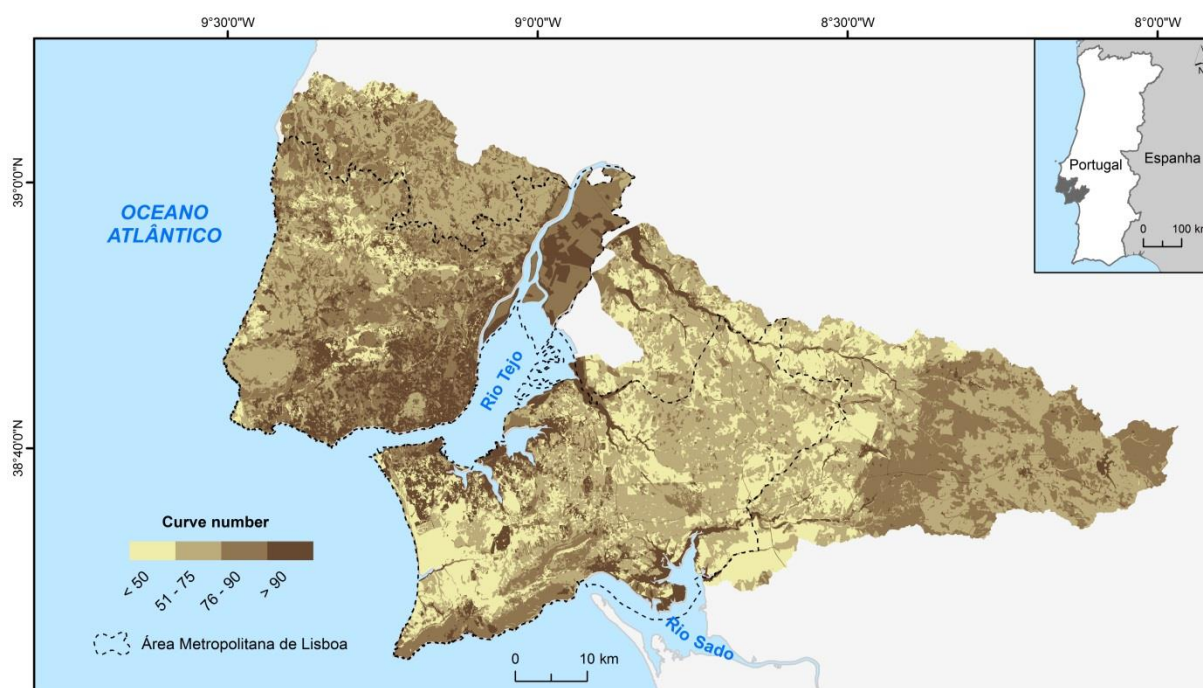


Figura 1.20 Distribuição espacial do *curve number* nas bacias hidrográficas da AML Norte e da AML Sul.

1.4. EDIFICADO E POPULAÇÃO

De acordo com os Censos 2011 existiam na AML 448.957 edifícios e 1.487.858 alojamentos. Segundo a mesma fonte, esta era a área metropolitana portuguesa mais populosa com 2.821.876 habitantes. Apesar de ocupar apenas 3% do território português, a AML contabilizava, em 2011, 13% do total de edifícios, 25% do total de alojamentos e 27% da população nacional. O número de edifícios/km² na AML (150) é cerca de 4 vezes superior ao de Portugal (38) e o número de alojamentos/km² (496) e o de habitantes/km² (940) são cerca de 8 vezes superiores aos do conjunto

do território português (64 e 115, respectivamente) (tabela 1.10). Estes números atestam o elevado grau de urbanização da AML no contexto do País (figura 1.21a).

O contraste entre a AML Norte e a AML Sul, já notório na ocupação do solo, é ainda mais evidente no edificado e na população (figura 1.21a), dado que 62% dos edifícios e 72% dos alojamentos e dos habitantes da AML se concentravam, em 2011, na AML Norte (tabela 1.10). As suas densidades atingem o dobro nos edifícios e o triplo nos alojamentos e na população quando comparadas com as da AML Sul (tabela 1.10).

Tabela 1.10 Edifícios, alojamentos e habitantes nos municípios da AML em 2011.

	Municípios	Área		Edifícios			Alojamentos			Habitantes		
		(km²)	(%)	(Nº)	(Nº/km²)	(%)	(Nº)	(Nº/km²)	(%)	(Nº)	(Nº/km²)	(%)
AML Norte	Amadora	23,8	0,8	13.696	576	3,1	88.036	3701	5,9	175.136	7363	6,2
	Cascais	97,4	3,2	43.624	448	9,7	109.171	1121	7,3	206.479	2120	7,3
	Lisboa	84,9	2,8	52.496	618	11,7	323.981	3814	21,8	547.733	6448	19,4
	Loures	169,3	5,6	31.095	184	6,9	99.344	587	6,7	205.054	1211	7,3
	Mafra	291,7	9,7	28.002	96	6,2	42.957	147	2,9	76.685	263	2,7
	Odivelas	26,4	0,9	16.344	620	3,6	69.238	2627	4,7	144.549	5484	5,1
	Oeiras	45,9	1,5	18.243	398	4,1	86.162	1878	5,8	172.120	3751	6,1
	Sintra	319,2	10,6	56.903	178	12,7	182.854	573	12,3	377.835	1188	13,4
	VFX*	318,1	10,6	16.984	53	3,8	65.125	205	4,4	136.886	1066	4,9
AML Sul	Alcochete	128,4	4,3	4.575	36	1,0	8.829	69	0,6	17.569	250	0,6
	Almada	70,2	2,3	34.163	487	7,6	101.536	1446	6,8	174.030	4782	6,2
	Barreiro	36,4	1,2	11.008	303	2,5	41.772	1148	2,8	78.764	247	2,8
	Moita	55,3	1,8	12.398	224	2,8	34.673	628	2,3	66.029	1195	2,3
	Montijo	348,6	11,6	12.996	37	2,9	26.766	77	1,8	51.222	147	1,8
	Palmela	465,1	15,5	21.631	47	4,8	33.196	71	2,2	62.831	135	2,2
	Seixal	95,5	3,2	30.124	315	6,7	79.552	833	5,3	158.269	1657	5,6
	Sesimbra	195,5	6,5	20.433	105	4,6	31.837	163	2,1	49.500	253	1,8
	Setúbal	230,3	7,7	24.242	105	5,4	62.829	273	4,2	121.185	526	4,3
AML Norte		1376,7	45,9	277.387	202	61,8	1.066.868	775	71,7	2.042.477	1484	72,4
AML Sul		1625,2	54,1	171.570	106	38,2	420.990	259	28,3	779.399	480	27,6
AML		3001,9	100	448.957	150	100	1.487.858	496	100	2.821.876	940	100
Portugal		92.212	-	3.544.389	38	-	5.878.756	64	-	10.562.178	115	-

* VFX – Vila Franca de Xira.

À escala municipal, Lisboa, Sintra e Cascais atingem os maiores valores absolutos no que respeita aos edifícios (figura 1.21b), alojamentos (figura 1.21c) e habitantes (figura 1.21d). Sintra possui o maior número de edifícios (56.903) e Lisboa a maior quantidade de alojamentos (323.981) e de habitantes (547.733). Quanto aos valores ponderados, Odivelas regista a maior densidade de edifícios (620/km²), Lisboa a densidade de alojamentos mais elevada (3814/km²) e Amadora alcança a maior densidade populacional (7363/km²). Note-se que os valores referidos são 16, 60 e 64 vezes superiores, respectivamente, aos de Portugal (tabela 1.10) e que a densidade populacional na Amadora é a mais elevada de todos os concelhos portugueses. Acrescente-se ainda que as densidades de edifícios, de alojamentos e da população dos municípios da AML são, em quase todos os casos, superiores às existentes na globalidade do território português (tabela 1.10). As únicas exceções ocorrem em Alcochete (36 edifícios/km²) e no Montijo (37 edifícios/km²).

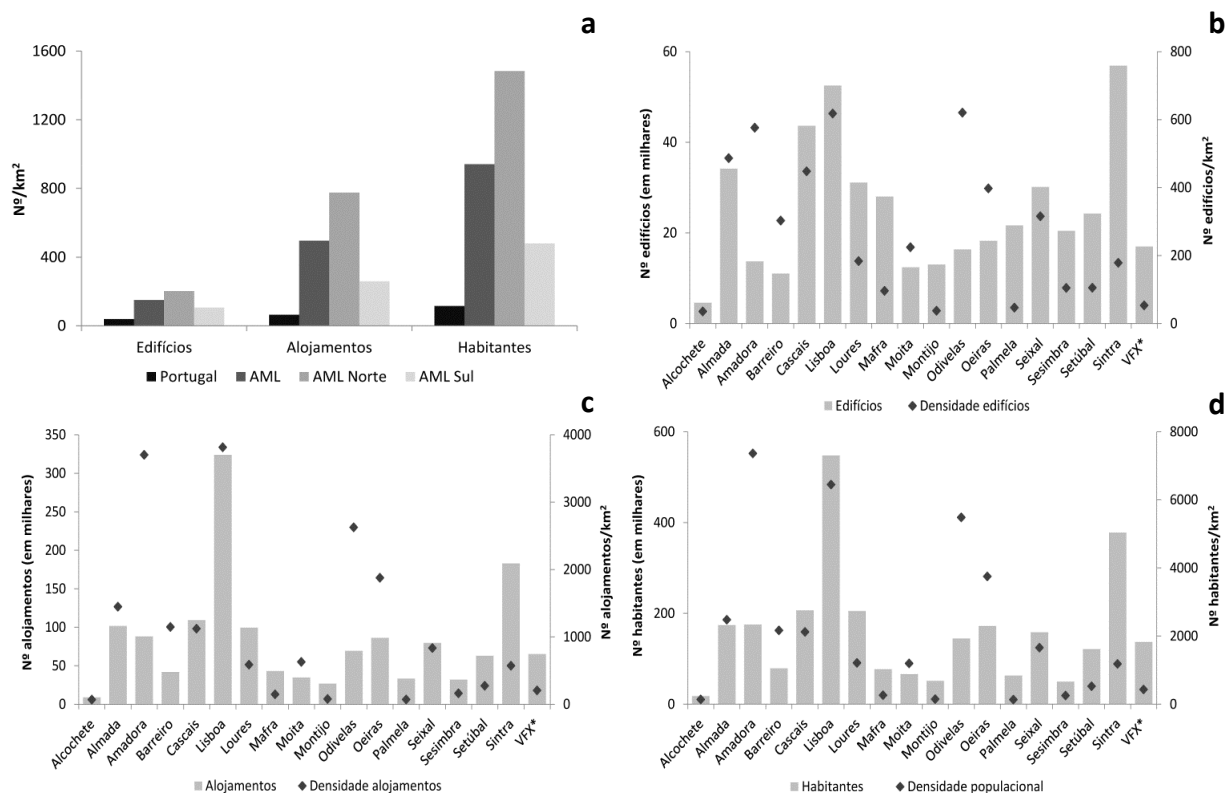


Figura 1.21 Edificado e população na AML: **a)** importância no contexto português; **b)** edifícios; **c)** alojamentos; e **d)** habitantes a nível municipal em 2011.

Ora, se esta é a realidade actual, importa saber como se chegou até aqui. A expansão urbana da AML iniciou-se a partir da cidade de Lisboa, até pela sua importância histórica. Lisboa era já uma cidade relevante na época Romana, tornando-se a capital do Reino de Portugal a partir do século XIII. A sua posição geográfica, no centro das rotas marítimas entre o Atlântico Norte e o Atlântico Sul e entre o Mediterrâneo e o Atlântico e, simultaneamente, próximo da desembocadura do principal rio navegável da Península Ibérica, fez de Lisboa um importante porto comercial na época (Barata Salgueiro, 2001). O desenvolvimento económico da cidade esteve, aliás, intimamente ligado aos Descobrimentos e aos períodos de maior crescimento do comércio externo, sobretudo com a chegada dos produtos do Oriente (Barata Salgueiro, 2001) e do ouro do Brasil.

O alargamento da malha urbana transformou progressivamente áreas rurais em urbanas, áreas periféricas em centrais e áreas remotas em periferias, e assim, a AML deixou de ser uma região de cariz rural para se tornar cada vez mais urbana, assumindo-se, na actualidade, como uma área metropolitana. O acréscimo significativo de população chegada do campo foi determinante neste processo de urbanização a partir da segunda metade do século XX (Barata Salgueiro, 2001). Desde essa altura que se verificou um *boom* populacional na AML, embora o aumento do número de habitantes já fosse uma constante nas décadas anteriores (figura 1.22a). Com base nos dados disponíveis, é possível identificar quatro períodos com diferentes ritmos de crescimento populacional

na AML: 1) 1864-1920, em que a população passou de 341 mil para 760 mil habitantes, crescendo à razão de, sensivelmente, 84 mil habitantes por década; 2) 1920-1960, em que o número de habitantes atingiu 1,5 milhões, com um incremento médio de 187 mil habitantes por década; 3) 1960-1981, correspondente ao *boom* populacional referido (488 mil habitantes por década), alcançando quase 2,5 milhões de habitantes; e 4) 1981-2011, em que o ritmo de crescimento abrandou (113 mil habitantes por década), perfazendo, assim, 2.821.876 habitantes (figura 1.22a). Destacaram-se as décadas de 1970, em que se constatou o maior incremento médio (660.122 habitantes), e de 1980, com o menor ritmo de crescimento populacional (38.432 habitantes).

O importante crescimento populacional verificado teve reflexos significativos na paisagem, por força da proliferação de bairros de habitação fora dos limites administrativos de Lisboa, muitos dos quais de génese ilegal e constituídos por barracas. A principal fase de expansão suburbana ocorreu à custa dos transportes públicos, com o comboio a assumir grande importância, dado que as linhas de Cascais, Sintra e Vila Franca de Xira constituíram eixos de crescimento habitacional a partir da capital (Raposo Magalhães, 2003; Marques da Costa, 2004; Padeiro, 2015). Mais tarde, o autocarro possibilitou a criação de um quarto eixo: Odivelas/Loures (Marques da Costa, 2004). Por outro lado, o barco era o único meio transporte que fazia a ligação entre as duas sub-regiões da AML. Como tal, o processo de edificação na AML Sul ocorreu, em grande medida, nas áreas envolventes das estações fluviais. A urbanização tardia na margem sul do Tejo deveu-se à sua menor acessibilidade, facto que viria a ser colmatado pela inauguração, em 1966, da actual ponte 25 de Abril (Barata Salgueiro, 2001). Isso é visível no aumento da sua população a partir dos anos 70 (figura 1.22b). A distribuição espacial das áreas edificadas na AML Sul acabou por revelar um padrão assente em aglomerações urbanas de génese distinta: 1) o corredor junto ao rio Tejo entre Almada e o Barreiro; 2) os núcleos consolidados, como Setúbal; e 3) os núcleos de origem ilegal, como a Quinta do Conde ou Fernão Ferro (Padeiro, 2015). Hoje em dia, na AML assiste-se ao preenchimento dos interstícios do território devido à utilização do automóvel, ao mesmo tempo que as áreas edificadas existentes tendem a aumentar a sua densidade de construção (Marques da Costa, 2004).

A evolução do número de habitantes na AML Norte (figura 1.22b) praticamente decalca a evolução da AML (figura 1.22a), uma vez que foi a AML Norte a impulsionar o crescimento populacional da região. Entre 1864 e 1960, a importância desta sub-região no que se refere à população superou sempre os 80% do total da AML, decaindo, a partir daí, de forma progressiva até aos 72% registados em 2011. Entre 1960 e 1981, o número de habitantes na AML cresceu 65%, na AML Norte 56% e na AML Sul 101%. Durante este período de grande crescimento populacional, destacaram-se os aumentados verificados nos municípios do Seixal (336%), Sintra (183%), Loures (171%), Barreiro (151%), Cascais (137%) e Vila Franca de Xira (117%), pelas razões ligadas à expansão da rede de transportes já explicadas. Entre 1981 e 2011 registou-se uma quebra no ritmo de

crescimento da população, com o número de habitantes da AML a aumentar 14%, da AML Norte 8% e da AML Sul 33% (figura 1.22b). A nível municipal, em quase todos os concelhos houve incrementos populacionais, com destaque para aqueles em que o processo de urbanização estava mais atrasado, como Sesimbra, Mafra, Palmela ou Alcochete, mas também para outros em que se continuaram a verificar crescimentos significativos como Seixal e Sintra. No período 1981-2011, as exceções foram Lisboa, que perdeu cerca de 260 mil habitantes (-32%), e Barreiro, que registou um decréscimo de 11% na sua população. Para além destes, também Loures perdeu população, embora tal facto se tenha devido à criação do município de Odivelas em 1998.

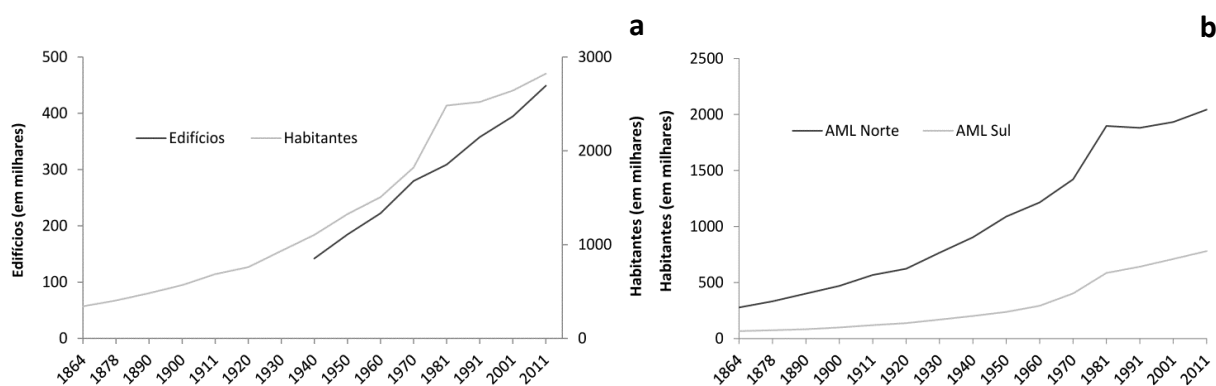


Figura 1.22 Evolução temporal dos edifícios e habitantes na AML (a) e do número de habitantes na AML Norte e na AML Sul (b) entre 1864 e 2011.

É também interessante analisar a quantidade de edifícios em função do período em que foram construídos (figura 1.23). Na AML Norte, a década de 70 é o período do qual resta o maior número de edifícios (figura 1.23a), coincidindo com a época de maior crescimento populacional (figura 1.22b), não sendo, no entanto, concordante com a década de maior construção: década de 60 (figura 1.22a). Tal pode ser explicado pela natureza de vários bairros habitacionais periféricos construídos entre 1961 e 1970 que, como foi referido, eram clandestinos e compostos por barracas. Mais tarde, muitas dessas habitações foram demolidas, o que significa que, apesar de terem sido contabilizadas nos Censos 1970 (figura 1.22a), já não entraram (em 2011) na contabilidade dos edifícios construídos durante a década de 60.

O crescimento urbano mais tardio da AML Sul em relação à AML Norte está também espelhado no período de construção dos edifícios. Enquanto 56% dos edifícios da AML Norte foram construídos nas últimas cinco décadas, na AML Sul o valor sobe para 71%, sendo que 20% do total de edifícios desta sub-região datam da década de 70 (figura 1.23a). A distância percentual entre a AML Norte e a AML Sul é, em grande parte, da responsabilidade do município de Lisboa, em que mais de 3/4 dos edifícios existentes foram construídos antes de 1970 (figura 1.23b). De facto, Lisboa é o único município a destoar da realidade global da AML, pois, em todos os outros concelhos a percentagem de edifícios posteriores à década de 70 é sempre superior a 50% (figura 1.23b).

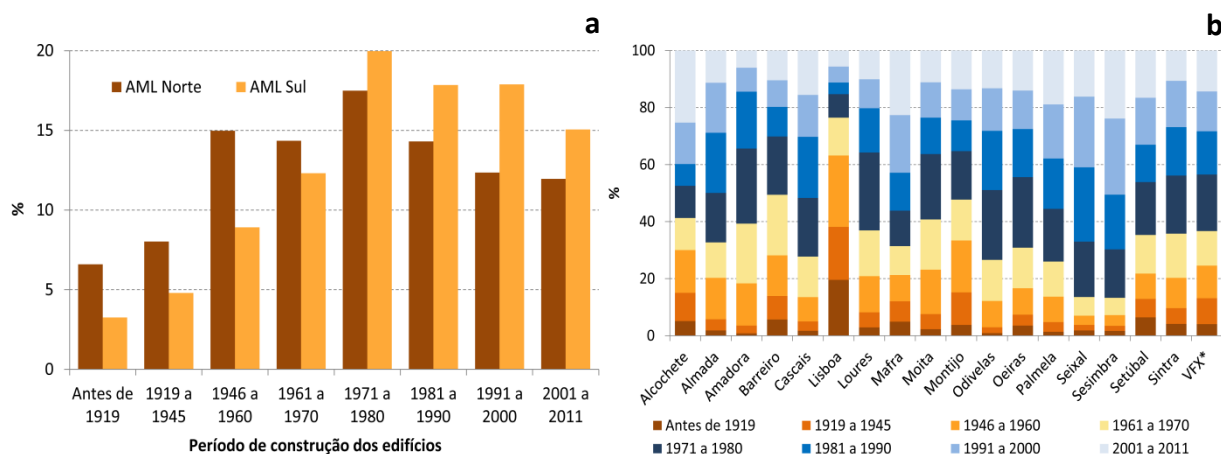


Figura 1.23 Período de construção dos edifícios em Portugal, na AML Norte e na AML Sul **(a)** e nos municípios da AML **(b)**.

Um outro aspecto importante relativo à construção é o número de pisos. Em 2011, a importância dos edifícios com 1 (36%), 2 (33%) e 3 ou mais (31%) pisos era muito equilibrada na AML. Todavia, e mais uma vez, o contraste norte-sul é assinalável (tabela 1.11). Os edifícios com 3 ou mais pisos representavam 37% do total da AML Norte, enquanto na AML Sul o peso cifrava-se nos 22%, já que os edifícios com apenas 1 piso eram predominantes (45%). Estes números são o reflexo do tipo de construção mais comum nas duas sub-regiões. A margem norte do Tejo adoptou um modelo de construção em altura, em que cada prédio pode albergar um número elevado de habitantes num espaço reduzido, algo que também está expresso no maior número de alojamentos por edifício (3,8 vs. 2,5 na AML Sul). Na margem sul a construção em extensão é mais frequente, em que as vivendas (1 ou 2 andares) são dominantes, principalmente fora dos principais centros urbanos.

Entre 1960 e 2011, a percentagem de edifícios com um único piso diminuiu de 65% para 35% na AML, enquanto os edifícios com 3 ou mais andares aumentaram de 16% para 31% (tabela 1.11). Esta tendência é algo que se constata na generalidade do território português, embora a importância dos edifícios com 3 ou mais andares seja maior no contexto da AML e, mais especificamente da AML Norte (tabela 1.11). Os concelhos em que esta realidade foi mais evidente são Lisboa, Amadora e Oeiras, nos quais mais de metade dos edifícios possuía, em 2011, 3 ou mais pisos (figura 1.24). Em oposição, Palmela (68%), Montijo (67%), Moita (53%) e Alcochete (50%) são os municípios em que o peso dos edifícios com um único piso era maior (figura 1.24). Note-se que a questão do número de pisos pode ser fundamental no âmbito das cheias e inundações, uma vez que, por norma, são apenas os pisos inferiores (caves e rés-do-chão) que são afectados por estes fenómenos.

Tabela 1.11 Edifícios por número de pisos.

Edifícios por número de pisos (%)									
Anos	1960			2011			1960-2011		
Nº pisos	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+
AML Norte	57	22	21	29	34	37	-28	12	16
AML Sul	82	13	5	45	33	22	-36	20	17
AML	65	19	16	36	33	31	-29	14	15
Portugal	64	32	4	39	46	15	-25	14	11

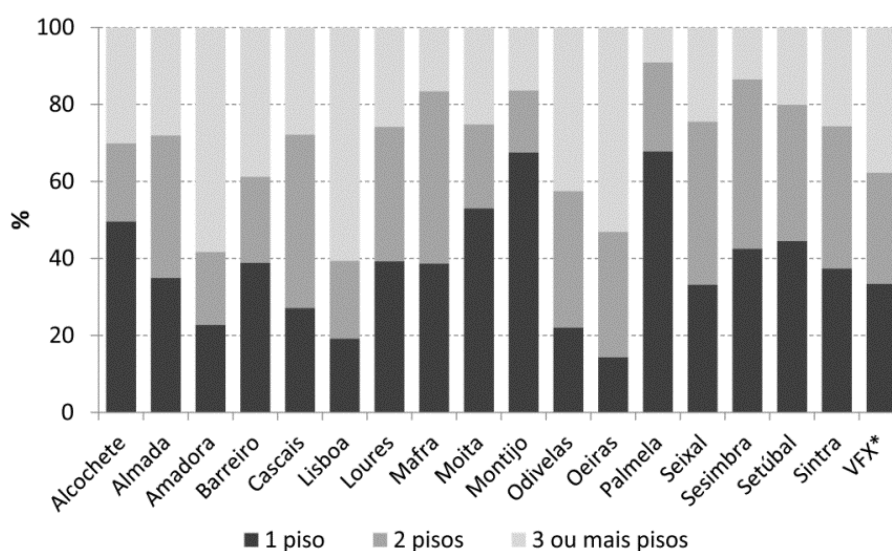


Figura 1.24 Edifícios por número de pisos nos municípios da AML.

Vale a pena referir ainda que, com o passar das décadas, se verificou uma melhoria progressiva das condições das habitações, fruto do tipo de material utilizado na sua construção. A realidade actual é totalmente distinta da que existia nas décadas de 60 e 70, em que muitas das habitações foram construídas em condições muito deficientes. Os numerosos bairros de barracas às portas de Lisboa eram o espelho do elevado índice de pobreza e de um País atrasado. Estes bairros de barracas foram gradualmente desaparecendo e muitos dos seus habitantes realojados em bairros de habitação social. Em 2011, perto de 2/3 dos edifícios existentes nesta região já eram de betão, algo que, como se sabe, é fundamental para a redução da vulnerabilidade às cheias e inundações.

SÍNTESE DO CAPÍTULO 1

O primeiro capítulo desta dissertação teve como objectivo essencial efectuar a caracterização física, da ocupação do solo, do edificado e da população da AML. Foi também analisada a sua distribuição espacial e evolução temporal (excepto para os elementos naturais do território, em que as modificações são residuais à escala das décadas). Este conjunto de informação serve de base e enquadramento a toda a investigação apresentada nos restantes capítulos.

A integração da AML na Orla Mesocenozóica Ocidental e na Bacia Cenozóica do Tejo-Sado fazem desta uma região recente no contexto do território português. As formações aflorantes foram constituídas ao longo dos últimos 200 milhões de anos, sendo datadas entre o Jurássico e o Holocénico. Aqui dominam as formações sedimentares (carbonatadas ou detríticas), mas existem também formações magmáticas e metamórficas na AML Norte, conferindo-lhe uma grande diversidade litológica.

A AML é considerada uma região de relevo moderado onde predominam as formas estruturais, como as costeiras. Existem, contudo alguns elementos que destoam desta realidade, ou seja, em que o relevo é independente da estrutura, como são os casos do maciço sub-vulcânico de Sintra, de outros testemunhos de actividade vulcânica (materiais do Complexo Vulcânico de Lisboa e cones vulcânicos) e das plataformas litorais. A serra de Sintra e a cadeia da Arrábida são os elementos do relevo que mais se destacam na paisagem, até por serem os pontos mais altos da AML.

O quadro estrutural da região impôs as óbvias condicionantes à instalação da rede hidrográfica. Neste âmbito destacam-se os rios Tejo (que separa a AML Norte da AML Sul), Sorraia (afluente do Tejo) e Sado pelas suas dimensões que excedem grandemente os limites da AML. Para além destes cursos de águas, foram consideradas 68 pequenas e médias bacias hidrográficas. A sua susceptibilidade às cheias e inundações depende da sua localização na AML, reflectindo-se nos factores permanentes (características físicas) e variáveis (ocupação do solo) de cada uma delas. Em função da localização, cada bacia apresenta uma conjugação de características distintas e irrepetíveis que fazem dela mais ou menos susceptível a estes fenómenos naturais. Ainda assim, existe um contraste notório entre as bacias que drenam a AML Norte e a AML Sul no que concerne aos factores condicionantes das cheias rápidas e das inundações urbanas (relacionadas com a rede de drenagem). Os declives mais acentuados e a menor permeabilidade imposta pelo substrato geológico e pelos solos das bacias da AML Norte agravam a sua susceptibilidade natural às cheias/inundações.

Apesar de ser uma área metropolitana, as áreas agrícolas (33%) e florestais (39%) continuam actualmente a ter maior peso na AML do que as áreas edificadas (20%). No entanto, a expansão destas tem-se realizado de forma progressiva e constante nas últimas décadas. Há ainda que notar a disparidade na edificação entre a AML Norte (27%) e a AML Sul (15%) e que, mesmo nestas sub-

regiões, existem diferenças assinaláveis. Dos 18 municípios que compõem a AML, Lisboa (74%), Amadora (67%), Oeiras (59%) e Odivelas (59%) são os que possuem maior superfície ocupada por áreas edificadas. A influência antrópica contribui decisivamente para o agravamento das consequências das cheias/inundações ao diminuir a permeabilidade natural das bacias hidrográficas. Os níveis de impermeabilização mais elevados foram estimados para as bacias do Parque das Nações, Estrela, Baixa Lisboa e Portela que, simultaneamente, são as mais edificadas da AML.

O crescimento urbano da AML processou-se a partir de Lisboa ao longo de três eixos ferroviários de Cascais, Sintra e Vila Franca de Xira, do eixo rodoviário Odivelas/Loures e da ligação fluvial à margem Sul, complementada mais tarde pela actual ponte 25 de Abril. O incremento da população e do número de edifícios e habitações verificado na AML a partir da segunda metade do século XX foi responsável pelo aumento da exposição e da vulnerabilidade às cheias e inundações, com as graves consequências que serão apresentadas no capítulo 4. Ao longo das décadas, a construção em altura tornou-se cada vez mais comum, possibilitando a acomodação de um maior número de pessoas numa área cada vez mais construída. Daqui resultou um aumento da exposição às inundações, uma vez que a população na AML continua a aumentar, mas a vulnerabilidade acabou por diminuir devido à melhoria das condições das habitações. A AML Norte revela ainda uma maior exposição a estes fenómenos devido à maior quantidade de edifícios em comparação com a AML Sul, pois, em muitos casos, as inundações em meio urbano não estão relacionadas com a rede de drenagem natural. Por isso, as áreas expostas a inundações urbanas são de difícil delimitação, já que estes fenómenos podem ocorrer em áreas aparentemente improváveis, fazendo com que, quanto maior for a densidade do edificado num território, maior seja a sua exposição. A grande extensão das áreas (potencialmente) inundáveis em meio urbano, onde as linhas de água não existem ou não são visíveis, contrasta com os leitos de cheia normalmente bem definidos dos rios e ribeiras que escoam à superfície, onde a localização dos edifícios é fundamental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - CAPÍTULO 1

- Alcoforado, M.J., Andrade, E., Neves, M., Vieira, G., 1993. Climas locais da Arrábida no Inverno. *Finisterra* 55–56, 215–228. doi:10.18055/Finis1870
- Alveirinho Dias, J., 1987. Dinâmica Sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Andrade, C.F., 1933. A Tectónica do Estuário do Tejo e dos Vales Submarinos ao Largo da Costa da Caparica, e a sua relação com as Nascentes Termo-Medicinais de Lisboa. *Comun. dos Serviços Geológicos Port.* XIX, 23–40.
- Azevêdo, T.M., Nunes, E., Ramos, C., 2004. Some morphological aspects and hydrological characterization of the Tagus floods in the Santarém Region, Portugal. *Nat. Hazards* 31, 587–601. doi:10.1023/B:NHAZ.0000024892.61336.ec
- Barata Salgueiro, T., 2001. Lisboa, periferia e centralidades. Celta, Oeiras.
- Boulila, S., Galbrun, B., Miller, K.G., Pekar, S.F., Browning, J. V., Laskar, J., Wright, J.D., 2011. On the origin of Cenozoic and Mesozoic “third-order” eustatic sequences. *Earth-Science Rev.* 109, 94–112. doi:10.1016/j.earscirev.2011.09.003
- Brum Ferreira, A., 2005. Formas do relevo e dinâmica geomorfológica, in: Medeiros, C.A. (Ed.), *Geografia de Portugal – o Ambiente Físico*. Círculo de Leitores, Lisboa, pp. 53–255.
- Butler, D., Davies, J.W., 2004. *Urban Drainage*, 2nd ed. Spon Press, London. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Carvalho, R., 1998. *Hidrologia e Recursos Hídricos, vol.1 - O Ciclo Natural da Água*. Estúdios Cor, S.A., Lisboa.
- Chow, V. Te, Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. *Applied Hydrology*. Mc-Graw-Hill.
- Coelho, A.V.P., 1974. Tectónica comum na génese dos maciços de Sintra, Sines e Monchique (nota prévia). *Bol. da Soc. Geológica Port.* XIX XIX, 81–89.
- Correia, F.N., 1984. Proposta de um método para a determinação de caudais de cheia em pequenas bacias naturais e urbanas. I.T.H. 6, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Dias, R., Pais, J., 2009. Homogeneização da Cartografia Geológica do Cenozóico da Área Metropolitana de Lisboa (AML). *Comun. Geológicas* 96, 39–50.
- Duarte, A.S., 2012. Estudo da interacção água subterrânea/água superficial nos sistemas associados à Lagoa de Albufeira. Dissertação de Mestrado em Geologia Aplicada, Especialização em Hidrogeologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Ferreira, J.L., Oliveira, M., Moinante, M.J., 1995. Caracterização dos sistemas hidrogeológicos de Portugal continental e avaliação das suas reservas hídricas, in: *Desenvolvimento de Um Inventário Das Águas Subterrâneas de Portugal*. Vol. 2, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, pp. 1–262.
- Fonseca, A.F., Zêzere, J.L., Neves, M., 2014. Geomorphology of the Arrábida Chain (Portugal). *J. Maps* 10, 103–108. doi:10.1080/17445647.2013.859637
- Freire, P., 1999. Evolução morfo-sedimentar de margens estuarinas (estuário do Tejo, Portugal). Doutoramento em Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- Freitas, M.C., 1995. A Laguna de Albufeira (Península de Setúbal) – Sedimentologia, Morfologia e Morfodinâmica. Dissertação de Doutoramento em Geologia, especialidade de Geologia do Ambiente, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M.B., Jacquin, T., de Graciansky, P.-C., Vail, P.R., 1998. Mesozoic and

- Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins, in: Graciansky, P.-C., Hardenbol, J., Jacquin, T., Vail, P. (Eds.), *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications, pp. 3–13.
- Harrison, C., 1990. Long-Term Eustasy and Epeirogeny in Continents, in: Revelle, R.R. (Ed.), *Sea-Level Change*. National Academy Press, Washington, pp. 141–158.
- Holz, M., 2015. Mesozoic paleogeography and paleoclimates - A discussion of the diverse greenhouse and hothouse conditions of an alien world. *J. South Am. Earth Sci.* 61, 91–107. doi:10.1016/j.jsames.2015.01.001
- Kullberg, J.C., Machado, S., 2006. Cartografia Geológica do Mesozóico na AML e aspectos relativos à normalização, in: *Cartografia Geológica Aplicada a Áreas Urbanas - O Caso Da Área Metropolitana de Lisboa*. pp. 49–61.
- Kullberg, J.C., Rocha, R.B., Soares, A.F., Rey, J., Terrinha, P., Callapez, P., Martins, L., 2006a. A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica, in: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Eds.), *Geologia de Portugal No Contexto Da Ibéria*. Universidade de Évora, pp. 317–368.
- Kullberg, J.C., Terrinha, P., Pais, J., Reis, R.P., Legoinha, P., 2006b. Arrábida e Sintra: dois exemplos de tectónica pós-rifting da bacia Lusitaniana, in: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Eds.), *Geologia de Portugal No Contexto Da Ibéria*. Universidade de Évora, pp. 369–396.
- Kullberg, M.C., Kullberg, J.C., 2000. Tectónica da região de Sintra. *Tectónica das regiões Sintra e Arrábida*, Mem. Geociências, Mus. Nac. Hist. Nat. Univ. Lisboa 2, 1–34.
- Leal, M., 2011. As cheias rápidas em bacias hidrográficas da AML Norte: factores condicionantes e desencadeantes. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- Leal, M., Ramos, C., 2013. Susceptibilidade às cheias na Área Metropolitana De Lisboa Norte: factores de predisposição e impactes das mudanças de uso do solo. *Finisterra* 95, 17–40. doi:https://doi.org/10.18055/Finis3129
- Lencastre, F.M., Franco, A., 1984. Lições de Hidrologia. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Marques da Costa, N., 2004. Dispersão urbana e mobilidade na Area Metropolitana de Lisboa, in: *Actas Do V Congresso Da Geografia Portuguesa*. Guimarães, p. 17.
- McCuen, R.H., 1997. *Hydrologic Analysis and Design*, 2nd editio. ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Mendonça, J.L., Cabral, J., 2003. Identificação de falhas na Bacia Cenozóica do Tejo através de técnicas de investigação hidrogeológica. *Comun. do Inst. Geológico e Min.* 90, 91–102.
- Miller, K.G., Kominz, M.A., Browning, J. V., Wright, J.D., Mountain, G.S., Katz, M.E., Sugarman, P.J., Cramer, B.S., Christie-Blick, N., Pekar, S.F., 2005. The Phanerozoic Record of Global Sea-Level Change. *Science* (80-.). 310, 1293–1298. doi:10.1126/science.1116412
- Mudelsee, M., Bickert, T., Lear, C.H., Lohmann, G., 2014. Cenozoic climate changes: A review based on time series analysis of marine benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Rev. Geophys.* 52, 333–374. doi:10.1002/2013RG000440
- Müller, R.D., Sdrolias, M., Gaina, C., Steinberger, B., Heine, C., 2008. Long-term sea-level fluctuations driven by ocean basin dynamics. *Science* (80-.). 319, 1357–1362. doi:10.1126/science.1151540
- Muñoz, J.A., 1992. Evolution of a continental collision belt: ECORS-Pyrenees crustal balanced cross-section, in: McClay, K.R. (Ed.), *Thrust Tectonics*. Springer, Dordrecht, pp. 235–246.

doi:10.1007/978-94-011-3066-0

- Padeiro, M., 2015. Os factores determinantes da edificação recente na AML (1991-2011). *Finisterra* 50, 5–29. doi:10.18055/finis3072
- Pais, J., Cunha, P.P., Pereira, D., Legoinha, P., Dias, R., Moura, D., Brum da Silveira, A., Kullberg, J.C., González-Delgado, J.A., 2012. The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal): A Cenozoic record in the European Atlantic Domain. *Springer*. doi:10.1007/978-3-642-22401-0
- Pereira, R., Alves, T.M., 2011. Margin segmentation prior to continental break-up: A seismic-stratigraphic record of multiphased rifting in the North Atlantic (Southwest Iberia). *Tectonophysics* 505, 17–34. doi:10.1016/j.tecto.2011.03.011
- Péron-Pinvidic, G., Manatschal, G., Minshull, T.A., Sawyer, D.S., 2007. Tectonosedimentary evolution of the deep Iberia-Newfoundland margins: Evidence for a complex breakup history. *Tectonics* 26, 1–19. doi:10.1029/2006TC001970
- Pinheiro, L.M., Wilson, R.C.L., Reis, R.P., Whitmarsh, R.B., Ribeiro, A., 1996. The Western Iberia Margin: a Geophysical and Geological Overview. *Proc. Ocean Drill. Program, Sci. Results* 149, 3–23. doi:10.2973/odp.proc.sr.149.246.1996
- Plint, A.G., Eyles, N., Eyles, C.H., Walker, R.G., 1992. Control of Sea Level Change, in: Walker, R.G., James, N.P. (Eds.), *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada, pp. 15–26.
- Quintana, L., Pulgar, J.A., Alonso, J.L., 2015. Displacement transfer from borders to interior of a plate: A crustal transect of Iberia. *Tectonophysics* 663, 378–398. doi:10.1016/j.tecto.2015.08.046
- Ramalho, M.M., Pais, J., Rey, J., Berthou, P.Y., Matos Alves, C.A., Palácios, T., Leal, N., Kullberg, M.C., 1993. Notícia explicativa da folha 34-A Sintra. *Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa*.
- Ramos-Pereira, A., 1982. A depressão da Granja do Marquês. *Problemas geomorfológicos. Linha de Acção de Geografia Física*, 15. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- Ramos-Pereira, A., 1988. Aspectos do relevo de Portugal. *Litorais Ocidental e Meridional da Península de Setúbal*. *Finisterra* 46, 335–352. doi:10.18055/Finis1988
- Ramos-Pereira, A., 2003. Geografia Física e Ambiente, in: *Atlas Da Área Metropolitana de Lisboa*. pp. 44–65. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Ramos, C., 2005. Os Recursos Hídricos, in: Medeiros, C.A. (Ed.), *Geografia de Portugal – o Ambiente Físico*. Círculo de Leitores, Lisboa, pp. 386–415.
- Ramos, C., 2009. Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território. Núcleo de Investigação em Sistemas Litorais e Fluviais: Dinâmicas, Mudanças Ambientais e Ordenamento do Território (SLIF – 6), Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Raposo Magalhães, M., 2003. Complexidade da paisagem metropolitana, in: *Atlas Da Área Metropolitana de Lisboa*. pp. 66–89.
- Rasmussen, E.S., Lomholt, S., Andersen, C., Vejbæk, O. V., 1998. Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal. *Tectonophysics* 300, 199–225. doi:10.1016/S0040-1951(98)00241-8
- Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D., Monteiro, J.H., 1979. *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal.
- Ribeiro, A., 2002. *Soft Plate and Impact Tectonics*. Springer Verlag, Berlin.
- Ribeiro, O., 1968. Excursão à Arrábida. *Finisterra* 3, 257–273. doi:10.18055/Finis2507

- Rocha, R.B., Soares, A.F., 1984. Algumas reflexões sobre a sedimentação jurássica na orla meso-cenozóica ocidental de Portugal. *Memórias e Notícias* 97, 133–142.
- Smith, K., Ward, R., 1998. *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. Wiley, Chichester.
- Snedden, J.W., Liu, C., 2010. A Compilation of Phanerozoic Sea-Level Change, Coastal Onlaps and Recommended Sequence Designations. *Search Discov. Am. Assoc. Pet. Geol.* 2004–2006.
- Srivastava, S.P., Roest, W.R., Kovacs, L.C., Oakey, G., Lévesque, S., Verhoef, J., Macnab, R., 1990. Motion of Iberia since the Late Jurassic: Results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland Basin. *Tectonophysics* 184, 229–260. doi:10.1016/0040-1951(90)90442-B
- Teixeira, C., 1962. La structure annulaire subvolcanique des massifs eruptifs de Sintra, Sines et Monchique, in: *Estudos Científicos Oferecidos Em Homenagem Ao Prof. Doutor J. Carrington Da Costa*. Junta de Investigações do Ultramar, Lisboa, pp. 461–493.
- Terrinha, P., Pueyo, E.L., Aranguren, A., Kullberg, J.C., Kullberg, M.C., Casas-Sainz, A., Azevedo, M.D.R., 2018. Gravimetric and magnetic fabric study of the Sintra Igneous complex: laccolith-plug emplacement in the Western Iberian passive margin. *Int. J. Earth Sci.* 107, 1807–1833. doi:10.1007/s00531-017-1573-7
- Tucholke, B.E., Sawyer, D.S., Sibuet, J.-C., 2007. Breakup of the Newfoundland–Iberia rift, in: Karner, G.D., Manatschal, G., Pinheiro, L.M. (Eds.), *Imaging, Mapping and Modelling Continental Lithosphere Extension and Breakup*. Geological Society Special Publications, London. doi:10.1144/SP282
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., Billups, K., 2001. Trends, Rhythms, and Aberration in Global Climate 65 Ma to Present. *Science* (80-.). 292, 686–693.
- Zêzere, J.L., 1991. As costeiras do Norte de Lisboa: evolução quaternária e dinâmica actual das vertentes. *Finisterra* 27–56. doi:10.18055/Finis1908

CAPÍTULO 2

PRECIPITAÇÃO COMO FACTOR DESENCADEANTE DAS INUNDAÇÕES NA AML

O capítulo 2 desta dissertação aborda a importância da precipitação, e particularmente das precipitações intensas, no âmbito das cheias e inundações que ocorrem na AML. Procura-se perceber quais os factores que influenciam a repartição espacial da precipitação nesta região e se a sua influência se manifesta de forma semelhante tanto nos valores anuais ou mensais médios, como nos episódios de maior magnitude e menor recorrência. Tendo em conta o âmbito deste trabalho, as precipitações intensas são tratadas com maior detalhe, com particular destaque para os três eventos extremos que afectaram a AML nas últimas décadas: 25-26 de Novembro de 1967 (Trigo *et al.*, 2016), 18-19 de Novembro de 1983 (Liberato *et al.*, 2012) e 18 Fevereiro de 2008 (Fragoso *et al.*, 2010).

São diversas as causas que podem estar na origem de cheias e inundações. No entanto, a precipitação é o único dos factores desencadeantes a ser analisado nesta dissertação, até por se tratar do mais relevante e representativo na AML. Se as características físicas e antrópicas dos territórios impõem as condições necessárias para que um determinado tipo de inundação ocorra (cheias progressivas, cheias rápidas ou inundações urbanas) e para que algumas áreas sejam mais propensas a sofrerem com estes fenómenos naturais, é a precipitação que verdadeiramente causa as cheias/inundações.

2.1. RECOLHA E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Os dados de precipitação utilizados pertencem quase na totalidade à rede meteorológica do SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos). Recorreu-se também à estação de Lisboa (Geofísico) do IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera). Face aos objectivos do trabalho, foram recolhidos vários tipos de dados de precipitação: anuais, mensais, diários, diários máximos anuais e horários. Por outro lado, a disponibilidade, quantidade e qualidade dos dados obrigou à utilização de diferentes conjuntos de estações meteorológicas.

Os dados anuais foram utilizados para analisar a evolução temporal e as variações inter-anuais da precipitação na AML, assim como a sua distribuição espacial. Para tal, foram apenas consideradas as estações meteorológicas com 20 ou mais registos (17): Águas de Moura, Alcochete, Arranhó, Cacém, Caneças, Canha, Cheleiros, Colares (Sarrazola), Comporta, Lisboa (Geofísico), Milharado, Quinta do Pisão, Sacavém de Cima, São Julião do Tojal (SJT), Sobral da Abelheira, Vila Franca de Xira (Lezíria) e Vila Nogueira de Azeitão. Apesar de se situarem fora dos limites da AML, optou-se pela utilização das estações de Arranhó e da Comporta devido à sua proximidade relativamente à área de estudo. No caso da Comporta o recurso aos seus registos ainda é mais premente, pois advém da escassez de estações com séries longas de dados na AML Sul. Os registos mensais das mesmas estações foram utilizados para analisar a distribuição intra-anual das precipitações na AML e perceber se existem contrastes espaciais nesta região. A localização e as características das estações podem ser consultadas na figura 2.1 e na tabela 2.1, respectivamente.

Através dos registos diários das estações meteorológicas com mais de 30 anos de dados foi possível determinar as precipitações correspondentes aos percentis 90, 95 e 99, tal como o valor máximo diário de precipitação registado. Uma vez que se trata de precipitações intensas, decidiu-se aumentar a extensão mínima das séries de dados, de 20 para 30 anos, de modo a conferir maior robustez à análise e garantir que os valores obtidos são, de facto, muito elevados e pouco frequentes. As estações que encaixam neste critério são: Águas de Moura, Alcochete, Arranhó, Cacém, Caneças, Canha, Comporta, Lisboa (Geofísico), SJT, Sobral da Abelheira, Vila Franca de Xira (Lezíria) e Vila Nogueira de Azeitão (figura 2.1 e tabela 2.1).

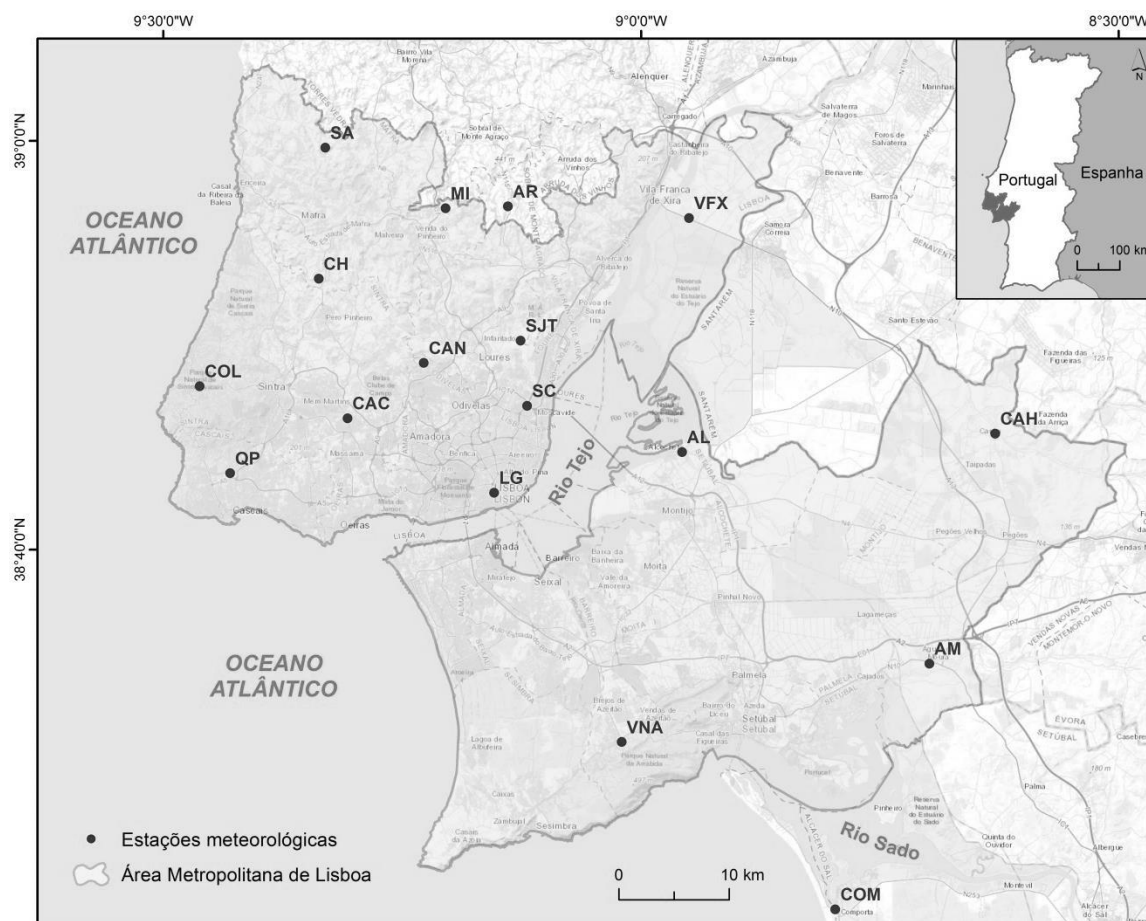


Figura 2.1 Distribuição espacial das estações meteorológicas com dados anuais e mensais para períodos iguais ou superiores a 20 anos na AML.

Tabela 2.1 Características das estações meteorológicas com dados anuais e mensais para períodos iguais ou superiores a 20 anos na AML.

Código	Estação meteorológica	Altitude (metros)	Número de registos	Dados anuais		Dados diários	
				Data de início	Data de fim	Número de registos	Dias com registos (%)
AL	Alcochete	13	72	01-10-1932	01-10-2005	25 724	82
AM	Águas de Moura	17	70	01-10-1932	01-10-2005	28 206	91
AR	Arranhó	204	26	01-10-1979	01-10-2008	12 256	88
CAC	Cacém	173	26	01-10-1979	01-10-2006	11 093	82
CAH	Canha	52	73	01-11-1931	01-10-2007	29 954	94
CAN	Caneças	277	26	01-10-1980	01-10-2016	12 578	91
CH	Cheleiros	120	24	01-01-1979	01-10-2006	10 608	77
COL	Colares (Sarrazola)	56	26	01-10-1965	01-10-1996	6302	95
COM	Comporta	2	67	01-10-1934	01-10-2006	23 389	78
LG	Lisboa (Geofísico)	77	75	01-10-1941	01-10-2017	28 153	100
MI	Milharado	195	22	01-10-1980	01-10-2002	11 065	83
QP	Quinta do Pisão	89	20	01-10-1979	01-10-2000	7943	99
SA	Sobral da Abelheira	120	28	01-10-1979	01-10-2010	12 274	86
SC	Sacavém de Cima	46	67	01-10-1932	01-10-2001	8035	100
SJT	São Julião do Tojal	6	72	01-10-1938	01-10-2012	21 634	93
VFX	Vila Franca de Xira (Lezíria)	1	49	01-10-1957	01-10-2006	20 089	92
VNA	Vila Nogueira de Azeitão	126	80	01-10-1932	01-10-2014	31 677	100

Importava também analisar os contrastes espaciais das precipitações intensas na AML. Para isso, foi obtido o número de dias em que se registaram precipitações abundantes (≥ 40 mm/dia) e muito abundantes (ou “torrenciais”, segundo o autor) (≥ 100 mm/dia), de acordo com a classificação proposta por Fragoso (2004). Procurou-se o período temporal com dados diários para o maior número de estações meteorológicas. Esse período corresponde ao intervalo de 20 anos entre os anos hidrológicos de 1980/1981 e 1999/2000, durante o qual existem 17 estações com dados diários de precipitação. Este configura o mesmo conjunto de estações utilizado para as precipitações anuais e mensais (figura 2.1 e tabela 2.1).

É importante notar que os dados diários do SNIRH possuem uma limitação relevante. Estes referem-se ao período entre as 9h e as 9h do dia seguinte, ou seja, as 24 horas repartem-se por dois dias. Isto significa que, quando não existem valores horários disponíveis, um evento de precipitação pode estar fragmentado em dois registos diários.

Para completar a informação relativa às precipitações intensas foram recolhidas as precipitações diárias máximas anuais da estação de SJT. Esta acabou por ser utilizada como estação de referência para a AML devido à duração e fiabilidade das suas séries de precipitação diária e diária máxima anual (Fragoso *et al.*, 2011; Trigo *et al.*, 2016). No que diz respeito aos dados de precipitação diária máxima anual, esta estação possui 74 anos de registos entre os anos hidrológicos de 1938/39 e 2011/12. Outra das razões da escolha de SJT como estação de referência prende-se com o facto de existirem curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) definidas por Brandão *et al.* (2001). Assim, foi possível construir estas curvas para vários períodos de retorno e para os eventos extremos de precipitação ocorridos em Novembro de 1967, Novembro de 1983 e Fevereiro de 2008. Ao contrário do evento de 2008, não existe informação horária disponível para os eventos de 1967 e 1983, por isso, a determinação das curvas IDF correspondentes foi efectuada através de udogramas. Para o evento de 1967 foi utilizado o udograma apresentado em Lencastre e Franco (1984). Para o evento de 1983, o udograma utilizado foi cedido pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Ainda no que diz respeito às curvas IDF, optou-se por não se considerar os períodos de retorno de 500 e de 1000 anos, apesar dos parâmetros para a sua obtenção estarem disponíveis em Brandão *et al.* (2001). Tal está relacionado com a incerteza na extrapolação dos valores de precipitação correspondentes a tais recorrências a partir de séries de dados com apenas algumas dezenas de anos (tabela 2.1).

Para caracterizar a precipitação ocorrida durante o evento de 2008 foram recolhidos dados horários de 29 estações meteorológicas da rede do SNIRH: Águas de Moura, Alcochete, Barragem de Magos, Barragem do Rio da Mula, Cacém, Calhandriz, Caneças, Canha, Carapuçes (São Torcato), Cheleiros, Comporta, Linhó, Lousa, Malveira da Serra, Meca, Milharado, Monte da Caparica, Muge, Orjariça, Ota, Pontével, Santo Estevão, SJT, São Martinho de Casebres, Sobral da Abelheira, Sobral de Monte Agraço, Vendas Novas, Vila Franca de Xira (Lezíria) e Vila Nogueira de Azeitão. Utilizaram-se

igualmente valores máximos de precipitação para 1, 3, 6 e 24 horas, correspondentes a 13 estações da rede do IPMA: Almada (Praia da Rainha), Amadora, Barreiro, Cabo Raso, Lisboa (Alvalade), Lisboa (Baixa), Lisboa (Benfica), Lisboa (Estefânia), Lisboa (Gago Coutinho), Lisboa (Geofísico), Loures, Sacavém e Setúbal. Estes valores foram publicados em Moreira *et al.* (2008) e estão disponíveis apenas para as quatro durações referidas. A distribuição espacial das 42 estações meteorológicas pode ser vista na figura 2.2. Note-se que algumas das estações estão fora dos limites da AML, sendo utilizadas para gerar o mapa da distribuição espacial da precipitação desencadeante do evento de 2008 através do método de interpolação *kriging* ordinário. A escolha deste método foi efectuada com base num erro médio quadrático mais baixo quando comparado com os métodos determinísticos e com os *kriging* simples e universal. Por outro lado, o mapa de precipitação resultante do *kriging* ordinário foi visualmente mais condizente com o registado através do radar do IPMA durante o evento de 2008⁵. Tendo em conta que só existiam quatro durações disponíveis (1, 3, 6 e 24 horas) para as 42 estações meteorológicas, optou-se pelas 24 horas para construir o mapa de precipitação do evento de 2008, pois, como se verá durante este capítulo, foi a partir das 6 horas que se alcançaram as magnitudes mais elevadas para este evento.

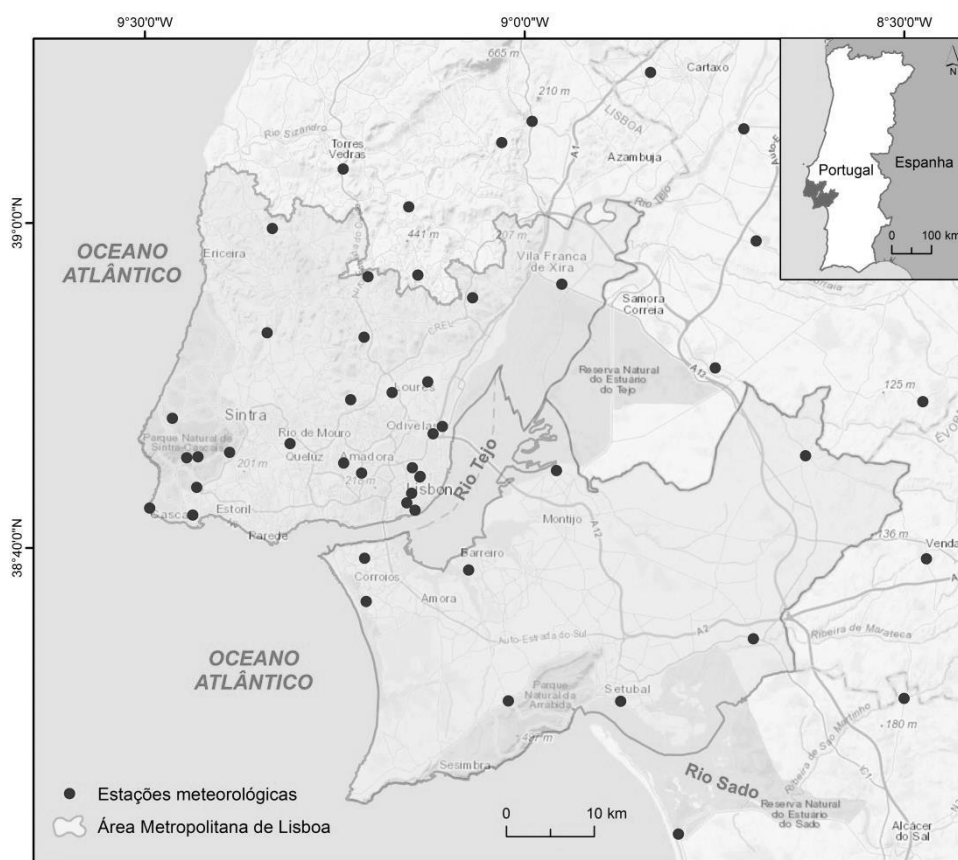


Figura 2.2 Distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas para caracterizar o evento extremo de precipitação de Fevereiro de 2008.

⁵ A imagem de radar está disponível em Moreira *et al.* (2008).

2.2. CARACTERÍSTICAS DO CLIMA PORTUGUÊS E INFLUÊNCIA NA PRECIPITAÇÃO NA AML

A posição geográfica de Portugal no contexto do planeta Terra explica, em grande parte, o seu tipo de clima e, mais concretamente, as características da precipitação. O território continental português localiza-se entre os paralelos 37 e 42° N, na parte meridional das designadas latitudes médias (Brum Ferreira, 2005), ou, por outras palavras, no limite meridional da grande faixa dos climas temperados (Alcoforado, 1991).

A posição latitudinal portuguesa faz com que o seu território seja influenciado por diferentes tipos de circulação (Alcoforado, 1991), dependendo da altura do ano, algo que pode ser explicado pela circulação geral da atmosfera e, mais especificamente, pela posição da célula de Hadley (Brum Ferreira, 2005). Durante o Verão, Portugal continental está incluído por inteiro nesta célula tropical e a migração anual para norte do seu ramo descendente permite alimentar e fixar a posição do anticiclone subtropical dos Açores (Brum Ferreira, 2005). A presença deste centro de altas pressões contribui para uma situação de estabilidade atmosférica ou de abrigo anticiclónico na Península Ibérica, resultando na chegada de ar quente e seco e na escassez de precipitação durante o Verão.

Durante o Inverno, a célula de Hadley e o anticiclone dos Açores deslocam-se para Sul, deixando Portugal continental exposto a um contexto mais perturbado. A circulação atmosférica à superfície passa a depender, predominantemente, da posição e intensidade da depressão da Islândia, um centro de baixas pressões extratropical, e Portugal é afectado pelos Ventos de Oeste (*westerlies*) que transportam ar com um elevado teor de humidade, causando episódios de precipitação (Trigo e DaCamara, 2000). Em altitude, observa-se uma intensificação da corrente de jacto de Oeste (*jet stream*) e o aumento da sua área de influência até latitudes mais baixas (Alcoforado, 1991; Brum Ferreira, 2005). Segundo Ramos (1986), os anos mais húmidos são aqueles em que predomina a circulação zonal, ou seja, quando existe um fluxo zonal rápido de Oeste e quando as correntes ondulatórias são pouco perceptíveis ou significativas. Isto parece ser válido para a Europa Ocidental e para a maioria do território de Portugal continental (Ramos, 1986). Importa, contudo, notar que se verifica uma grande variabilidade interanual associada à circulação zonal rápida e que, por outro lado, a circulação meridiana, composta pelas correntes ondulatórias e as situações de bloqueio, é a mais frequente no País, contribuindo para a maior frequência de anos mais secos (Ramos, 1986; Brum Ferreira, 2005). Como tal, “é a frequência relativa dos dois grandes tipos de circulação em altitude e das configurações do fluxo de Oeste em circulação meridiana que fixa a identidade pluviométrica e térmica dos anos climáticos e a variabilidade climática interanual” (Brum Ferreira, 2005: pp. 317).

A conjugação entre as circulações atmosféricas em altitude e à superfície numa faixa latitudinal de transição, como aquela em que Portugal continental está incluído, é extremamente

complexa e pode gerar dezenas de situações sinópticas. No entanto, estas podem ser agrupadas em situações anticiclónicas e depressionárias. As situações sinópticas dominadas pelo anticiclone subtropical ou pelos anticiclones de origem polar em circulação meridiana acabam por ser predominantes no território português (Trigo e DaCamara, 2000; Brum Ferreira, 2005). As situações depressionárias são aquelas capazes de causar precipitações mais ou menos intensas e de maior ou menor concentração temporal e espacial. Assim, de forma resumida e apenas no que toca à circulação à superfície, é possível considerar depressões estacionárias e perturbações frontais. Estas podem assumir características distintas em função da sua direcção e sentido de deslocamento, sendo que os anos chuvosos se devem à passagem sucessiva de várias superfícies frontais e não a depressões estacionárias (Ramos, 1986). Numa outra perspectiva, são três os tipos de circulação atmosférica que desencadeiam a maioria dos dias de precipitação: ciclónico, de oeste e de sudoeste (Trigo e DaCamara, 2000). Entre 1957 e 1986, juntos configuraram menos de 1/3 do total de dias, mas contabilizaram quase 2/3 dos dias com precipitação (Trigo e DaCamara, 2000).

A coincidência entre a estação seca e a estação quente é o que confere ao clima existente em Portugal continental a sua (quase) originalidade. O território nacional possui um clima temperado em que a estação chuvosa coincide com a estação mais fria (Inverno) e cujo Verão é seco. Porém, e de acordo com a classificação de Köppen, o clima de Portugal pode ser subdividido em função da temperatura atingida na estação seca. De forma genérica, o clima é classificado como 'Csb' (Verão pouco quente) a norte do rio Tejo e como 'Csa' (Verão quente) a sul do Tejo. Isto é algo que também se reflecte no balanço hídrico do território, pois a norte do Tejo $P > ETP$ e a sul do Tejo $P < ETP$ ⁶. Como referem Alcoforado *et al.* (2009: pp. 7), "o Tejo é um elemento não rígido entre o Norte mais atlântico e o Sul mais mediterrâneo".

Apesar da sua reduzida dimensão, o regime de precipitação em Portugal apresenta uma elevada irregularidade espacial e temporal (Daveau, 1977). Os seus contrastes climáticos devem-se a quatro factores essenciais que actuam a diferentes escalas: latitude, distância ao oceano, relevo e características físicas da superfície terrestre (Brum Ferreira, 2005). De uma forma geral, a precipitação anual média diminui de noroeste para sudeste, atingindo valores superiores a 3000 mm/ano no Minho, no Douro Litoral e na Cordilheira Central. Estes quantitativos contrastam com os registados no Baixo Alentejo, onde se atingem valores inferiores a 400 mm/ano. Para além de uma redução da quantidade anual de chuva, a irregularidade inter-anual aumenta do litoral para o interior (Brum Ferreira, 2005). Tal é comprovado pelas diferenças nos quantitativos de precipitação registados em anos chuvosos e em anos secos (Lima *et al.*, 2005), que podem ser bastante díspares em anos consecutivos. Apesar disso, não se verificam tendências evolutivas nas precipitações anuais

⁶ P = precipitação; ETP = evapotranspiração.

em Portugal continental ao longo do século, tal como demonstraram os resultados obtidos por Lima *et al.* (2005). O mesmo não sucede a nível mensal, cujo maior destaque é a tendência estatisticamente significativa de redução de precipitação em Março (Corte-Real *et al.*, 1998; Portela e Quintela, 1998; Trigo e DaCamara, 2000; Lima *et al.*, 2005; Gomes, 2012).

O ritmo da precipitação é tipicamente mediterrâneo, sendo notório um contraste sazonal, marcado por uma estação chuvosa entre Outubro e Fevereiro/Março e uma estação seca entre Abril e Setembro (Ramos e Reis, 2001; Brum Ferreira, 2005). Em meses muito chuvosos podem ser atingidos quantitativos de precipitação superiores aos registados em anos muito secos, embora tal só suceda em situações excepcionais. Em situações extremas, os valores diários são capazes de exceder os valores médios dos meses mais pluviosos. Como destaca Brum Ferreira (2005: pp. 344), “a variabilidade espacial e temporal da chuva, a sucessão de episódios de secas e de excessos pluviométricos não são acidentes climáticos; são a expressão das características do nosso clima”.

2.3. PRECIPITAÇÃO ANUAL E MENSAL

Dada a sua posição geográfica em Portugal continental, a AML encontra-se na transição das influências atlântica e mediterrânea, o que se reflecte na repartição espacial dos valores médios de precipitação anual e mensal. Tal como todo o território nacional, esta região é afectada pela irregularidade inter-anual e pelos contrastes sazonais, embora sejam a exposição aos ventos dominantes, a altitude e a rugosidade topográfica que induzem as diferenças nos totais de precipitação registados nas estações meteorológicas.

Utilizando os registos de precipitação anual da estação de SJT nos anos hidrológicos de 1938/1938 a 2011/2012, confirma-se a forte irregularidade inter-anual da precipitação e a sucessão entre anos húmidos e secos, sem que haja qualquer tendência temporal relevante (figura 2.3). A diferença entre o ano mais chuvoso (1217 mm em 2009/2010) e o ano mais seco (262,7 mm em 1944/1945) é de 954,3 mm, o que significa que a precipitação do ano mais chuvoso foi quase 5 vezes superior à do ano mais seco.

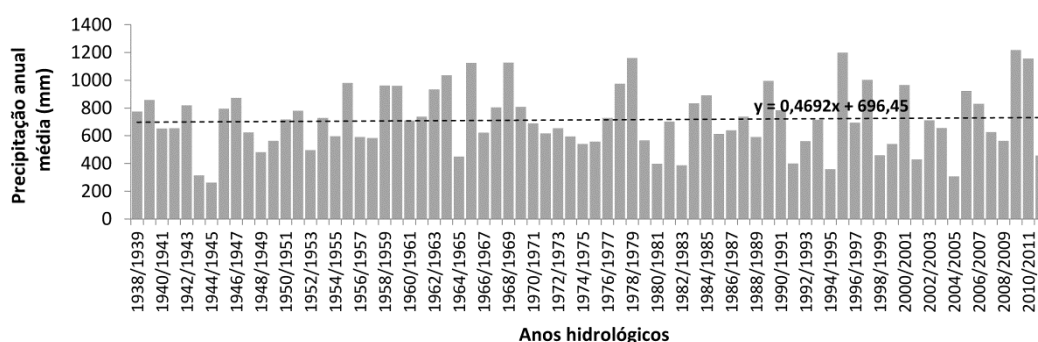


Figura 2.3 Precipitação anual média na estação meteorológica de SJT entre 1938/1938 e 2011/2012.

A precipitação anual média na AML atinge os valores mais elevados na Serra de Sintra, onde são ultrapassados 1000 mm, enquanto os valores mais baixos, inferiores a 500 mm, são atingidos no Cabo da Roca, no Cabo Raso e no Cabo Espichel (Daveau, 1977; Ramos-Pereira, 2003). Em termos teóricos, estes não seriam os locais com menores quantitativos de precipitação, já que se localizam junto ao oceano Atlântico. Todavia, a precipitação só ocorre com o aumento da rugosidade da superfície topográfica, dando origem a uma estreita faixa litoral menos chuvosa em comparação com áreas mais interiores, não obstante o elevado teor de humidade das massas de ar atlânticas (Ramos-Pereira, 2003). Com recurso às 17 estações meteorológicas com 20 ou mais anos de dados, a precipitação anual média varia entre 531,4 mm em Alcochete e 966,3 mm em Caneças (figura 2.4a). O factor relevo acaba por ser muito importante na distribuição espacial da precipitação, pois, tendencialmente, os valores mais elevados registaram-se nas estações localizadas a maior altitude (figura 2.4b). O valor do coeficiente de determinação entre a precipitação e a altitude ($R^2 = 0,62$) demonstra, no entanto, que existem outros factores a influenciar a primeira.

Apesar de ser uma pequena região, são perceptíveis os contrastes norte-sul na AML (figura 2.5). A precipitação anual média das estações localizadas na AML Norte (765,2 mm) é superior à da AML Sul (623,8 mm), algo que pode ser explicado pela latitude, mas, sobretudo, pela sua posição de abrigo em relação aos ventos dominantes de norte e noroeste (Alcoforado, 1992; Andrade, 2003). Esta razão é também válida para os valores mais baixos registados nas estações mais distantes do oceano Atlântico, embora, grande parte da explicação esteja relacionada com a redução da rugosidade topográfica e com a posição de abrigo aos fluxos atlânticos causada pelas serras de Sintra e da Arrábida (Ramos-Pereira, 2003).

A AML apresenta um regime de precipitação intra-anual semelhante ao do restante território nacional, com um contraste sazonal entre a estação chuvosa, de Outubro a Fevereiro, e a estação seca, de Março a Setembro (figura 2.6a). Vale a pena destacar o trimestre de Novembro, Dezembro e Janeiro como o mais chuvoso e o trimestre de Junho, Julho e Agosto como o mais seco. No entanto, é interessante verificar que a repartição da precipitação ao longo do ano foi diferente nas duas sub-regiões da AML. Pode dizer-se que o regime de precipitação intra-anual na AML Norte é mais parecido com o do Norte e Centro do País, assistindo-se à redução significativa da precipitação no mês de Março, sendo mesmo inferior à de Abril e de Maio (figura 2.6a). No caso da AML Sul percebe-se uma perda de importância de Outubro e um acréscimo da relevância de Março. Os valores de precipitação de Março foram equiparados aos de Fevereiro e, inclusivamente, superiores aos de Outubro (figura 2.6a). Isto significa que a AML se enquadra no regime de precipitação do Sul do País, confirmando o rio Tejo como divisão entre a influência atlântica a Norte e mediterrânea a Sul. Estes resultados estão em conformidade com os obtidos por Lima *et al.* (2013), Espírito Santo *et al.* (2014) e Santos *et al.* (2018). Por outro lado, na AML Sul foram Dezembro (94,7 mm) e Janeiro (91,4 mm) os

meses mais pluviosos, ao contrário do que sucedeu na AML Norte, em que os meses mais húmidos foram Novembro (122,3 mm) e Dezembro (112,7 mm). Isto confirma a tendência para a precipitação começar a ocorrer mais cedo a Norte do que a Sul.

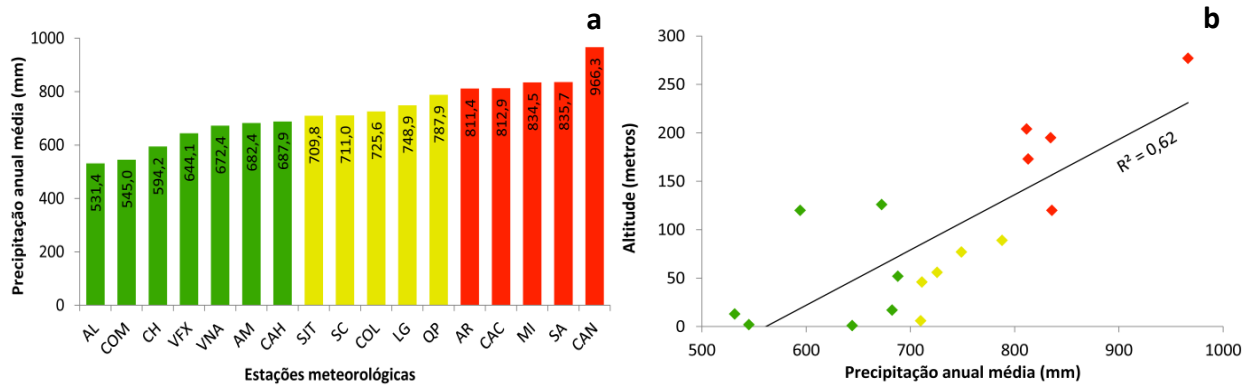


Figura 2.4 Precipitação anual média em 17 estações meteorológicas da AML (a) e a relação com a altitude (b).

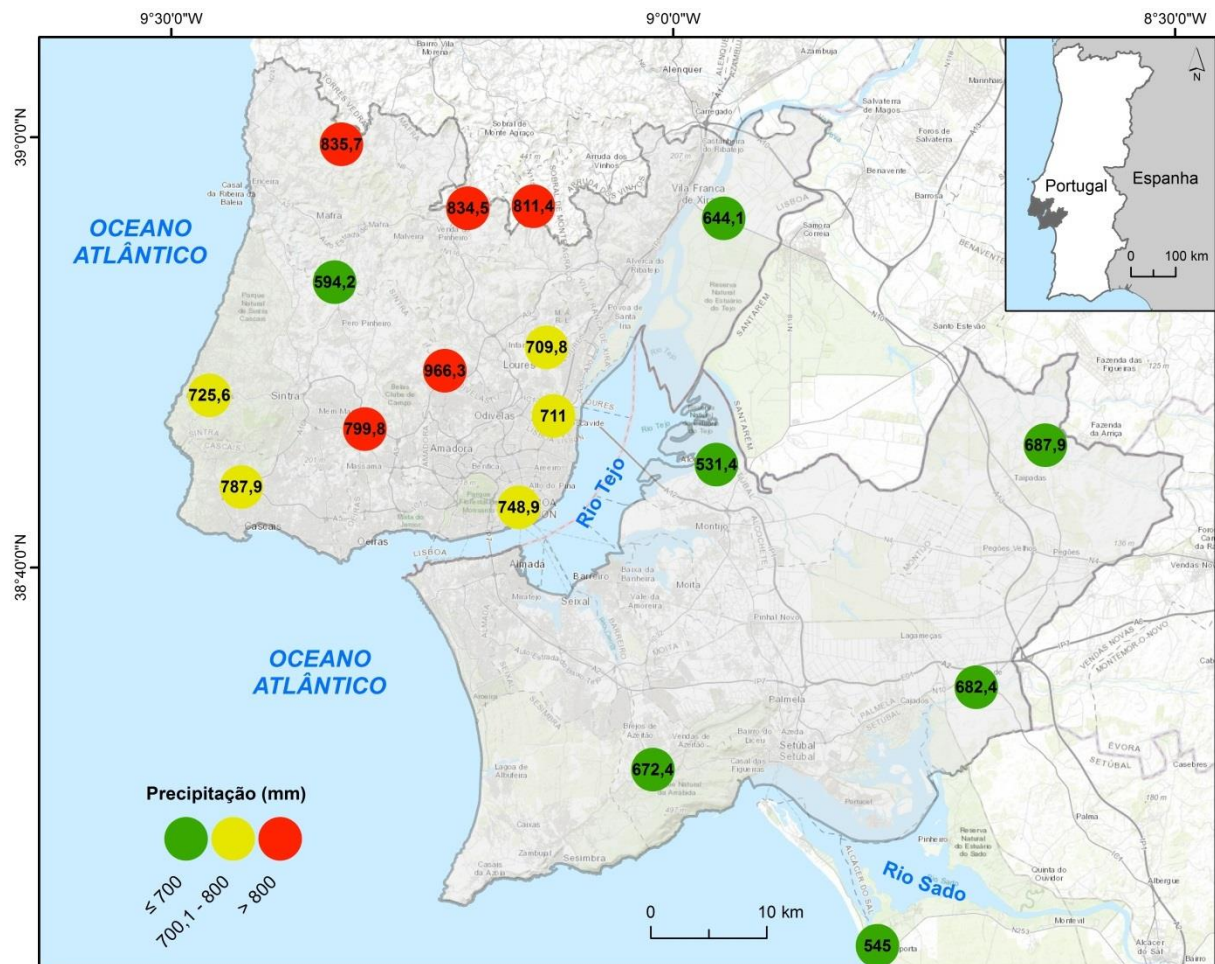


Figura 2.5 Distribuição espacial da precipitação anual média na AML.

As precipitações máximas e mínimas permitem ilustrar a amplitude que se verifica nos vários meses nas estações meteorológicas da AML. Note-se que se trata das máximas médias e das mínimas médias, ou seja, na figura 2.6b estão representados os valores médios das estações que registaram, em cada mês, o valor mais elevado e o valor mais baixo do conjunto de estações analisado. Novembro foi o mês em que a amplitude da precipitação entre estações foi maior, com a diferença entre o valor máximo (165,4 mm) e o valor mínimo (71,4 mm) a cifrar-se em 94 mm, sendo, simultaneamente, o mês em que a precipitação máxima foi mais elevada (figura 2.6b). Quanto ao valor mínimo mais elevado, foi obtido para Dezembro (76,1 mm). Refira-se ainda que, tal como aconteceu para a precipitação anual média, a estação de Caneças contabilizou os valores mensais mais expressivos. Os valores máximos médios mais elevados foram registados nesta estação em 8 dos 12 meses do ano. Em contraponto, Alcochete registou os valores mínimos médios mais baixos em 7 meses.

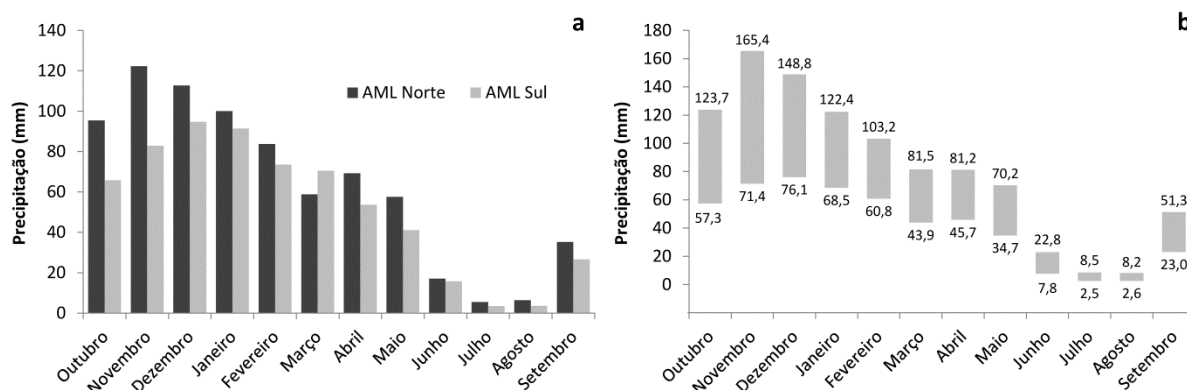


Figura 2.6 Precipitações média **(a)**, máxima média e mínima média **(b)** nas estações meteorológicas da AML.

2.4. PRECIPITAÇÕES INTENSAS

A precipitação que afecta Portugal continental está dependente da existência de contextos sinópticos que favoreçam a sua ocorrência, os quais sucedem, sobretudo, no Outono e no Inverno. A sua posição geográfica, no limite meridional das trajectórias das tempestades do Atlântico Norte, tornam Portugal susceptível às mudanças inter-anuais das trajectórias dos ciclones das latitudes médias, assim como às frentes associadas, que podem gerar precipitações intensas (Trigo, 2011; Santos e Frago, 2013). Recorde-se que nas regiões com clima mediterrâneo, como é o caso português, os padrões de precipitação são muito variáveis no tempo, no espaço e na quantidade e duração dos eventos (Durão *et al.*, 2009). Apesar de se encontrar no mesmo enquadramento latitudinal de Espanha, não é em Portugal continental que os fenómenos das precipitações intensas assumem a sua maior expressão no que respeita à magnitude e frequência no contexto ibérico

(Fragoso, 2004). Tal deve-se, essencialmente, à altitude das principais montanhas e ao seu afastamento em relação ao oceano Atlântico (Fragoso, 2004).

São vários os tipos de circulação atmosférica que afectam o território continental português, dando origem a diferentes estados de tempo. Se condições anticiclónicas estão associadas a tempo seco, existem outros tipos de circulação atmosférica favoráveis à ocorrência de precipitações. No Norte e Centro do País estas resultam, maioritariamente, do tipo de circulação ciclónico ou daqueles que têm origem no quadrante oeste: noroeste, oeste e sudoeste (Trigo e DaCamara, 2000; Santos *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2018). As cheias rápidas e inundações urbanas nestas regiões são, sobretudo, desencadeadas pelo tipo ciclónico, associado a sistemas convectivos que são capazes de gerar precipitações muito intensas em curtos períodos de tempo (Santos *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2018). Já os tipos com componente de Oeste são responsáveis por longos períodos chuvosos, podendo prolongar-se por semanas consecutivas e originar cheias progressivas (Pereira *et al.*, 2018). Por sua vez, os eventos que causaram maiores danos humanos no Sul foram desencadeados pelos tipos de circulação provenientes de este, sudeste e sul (Pereira *et al.*, 2018).

A posição geográfica e as características do relevo da AML fazem com que as precipitações intensas não sejam tão significativas nesta região como noutros pontos do País. Se cingirmos a análise apenas aos valores de precipitação máxima diária, estes são claramente menores em comparação com os registados no Norte e no Sul de Portugal continental, assim como na Madeira e Açores. O valor máximo em 24 horas em Portugal foi registado na barragem de Guilhofrei, na serra da Cabreira, onde foram contabilizados 572,9 mm no dia 17 de Novembro de 1960 (Brum Ferreira, 2005). Apesar de não atingirem esta grandeza, também no Sul já foram registadas precipitações diárias de magnitude muito elevada, como foi o caso do dia 26 de Outubro de 1997, em que foram totalizados 274,7 mm na Serra de Monchique (Rodrigues *et al.*, 1998). Na AML, a precipitação máxima diária registada foi de 173,8 mm na estação meteorológica do Cacém a 19 de Novembro de 1983. Todavia, saliente-se que os valores máximos registados em 24 horas na AML são, certamente, um pouco mais elevados, embora não seja possível saber a real dimensão dos valores atingidos. Esta impossibilidade deve-se à inexistência de dados horários para os eventos extremos de 1967 e de 1983, só estando disponíveis os registos diários entre as 9h e 9h do dia seguinte. No caso de SJT, os valores horários para estes dois eventos extremos foram determinados através dos udogramas, permitindo saber que a precipitação máxima em 24 horas durante o evento de 1983 atingiu 181 mm.

A utilização dos percentis mais elevados de uma série de dados é muito frequente em estudos sobre precipitações intensas. Com recurso às estações meteorológicas com 30 ou mais anos de registos diários de precipitação, foram determinados os percentis 90, 95 e 99, assim como a precipitação máxima diária registada (tabela 2.2). Os valores médios para a AML resultaram da média dos valores das 12 estações analisadas. Em rigor, estes valores médios para a AML podem estar

desvirtuados pelo número, localização e extensão das séries de dados das estações. Todavia, trata-se de uma aproximação à realidade, sendo que os valores reais não são, por certo, muito diferentes dos apresentados. As precipitações diárias correspondentes aos percentis 90, 95 e 99 são 18,3 mm, 25,6 mm e 43,5 mm, respectivamente, enquanto o valor máximo médio é de 123,8 mm (tabela 2.2). Estes valores podem ser encarados como referências para as precipitações intensas na AML.

Tabela 2.2 Valores de precipitação correspondentes aos percentis 90, 95 e 99 e ao máximo registado nas estações meteorológicas da AML com séries de dados diários iguais ou superiores a 30 anos.

Estações meteorológicas	Precipitação (mm)				Estações meteorológicas	Precipitação (mm)			
	P90	P95	P99	Máximo		P90	P95	P99	Máximo
Águas de Moura	20,2	28,0	46,1	91,4	Comporta	15,8	21,5	40,2	86,0
Alcochete	17,0	22,7	37,5	98,0	Lisboa (Geofísico)	18,7	26,4	44,7	118,4
Arranhó	18,1	25,6	42,6	152,3	São Julião do Tojal	18,5	26,4	43,0	163,7
Cacém	19,5	27,0	43,9	173,8	Sobral da Abelheira	17,8	25,3	43,3	129,5
Caneças	21,1	29,2	52,7	129,0	Vila Franca de Xira (Lezíria)	16,0	23,1	41,5	145,0
Canha	18,2	25,4	43,0	93,0	Vila Nogueira de Azeitão	18,7	26,0	43,2	105,4

Valores médios na AML: **P90** = 18,3 mm; **P95** = 25,6 mm; **P99** = 43,5 mm; **Máximo médio** = 123,8 mm; **Máximo** = 173,8 mm.

Das 12 estações meteorológicas, Caneças é a que possui valores mais elevados em todos os percentis (21,1 mm; 29,2 mm; e 52,7 mm), sendo Cacém a estação que registou a precipitação máxima diária mais elevada, com os já referidos 173,8 mm (tabela 2.2). Os valores mais baixos foram obtidos para as estações da Comporta (percentis 90 e 95 e precipitação máxima) e de Alcochete (percentil 99). Este padrão é semelhante ao já apresentado para as precipitações anuais e mensais médias. O relevo/altitude mantém-se como o factor mais relevante, desta feita no que concerne às precipitações intensas, pois a estação localizada a maior altitude (Caneças: 277 metros) possui os valores mais elevados, enquanto as que se situam a menor altitude, com excepção de SJT, contabilizam os valores mais reduzidos: Alcochete (13 metros), Comporta (2 metros) e Vila Franca de Xira (Lezíria) (1 metro). Águas de Moura é a estação com o comportamento mais desviante, uma vez que os seus valores de precipitação (os segundos mais elevados em todos os percentis) não parecem condizentes com a sua altitude (17 metros). Porém, a sua posição geográfica pode ser a justificação. A presença da cadeia da Arrábida pode representar uma barreira instabilizadora das massas de ar provenientes de oeste, gerando precipitação por vezes intensa na área a sotavento desta cadeia, ou seja, coincidindo com a área onde se localiza a estação de Água de Moura. Ainda assim, e tratando-se da hipótese mais provável, esta carece de confirmação científica.

A distribuição espacial das precipitações referentes aos percentis 90 (figura 2.7a), 95 (figura 2.7b) e 99 (figura 2.7c) é quase igual, algo que não sucede com a precipitação máxima (figura 2.7d). Isto denota que a altitude tem muito menor importância quando ocorrem eventos de precipitação extrema. Nestes casos excepcionais, a repartição espacial das precipitações intensas está, em grande

Tal como acontece com a precipitação anual média, a precipitação diária máxima anual, ou seja, o valor máximo registado em cada ano hidrológico, é afectada por uma grande irregularidade inter-anual. Com recurso a SJT, é possível perceber que os valores são muito diferentes de ano para ano (figura 2.8). Esta flutuação é ainda mais notória através da amplitude (145,6 mm) entre os valores máximo (163,7 mm em 1983/1984) e mínimo (18,1 mm em 1944/1945). Através da figura 2.8 confirma-se igualmente a inconstância inter-anual das precipitações abundantes, já que o número de dias do ano em que se registaram ≥ 40 mm é muito variável. Na estação de SJT existem diversos anos

hidrológicos em que não se observaram precipitações abundantes, havendo apenas dois anos com 5 dias que atingiram ou superaram 40 mm: 1968/1969 e 2009/2010 (figura 2.8). Como se percebe, a quantidade de dias em que se registaram precipitações desta grandeza não está relacionada com a precipitação diária máxima anual, nem mesmo com a precipitação anual média (figura 2.3). Relembre-se que os anos chuvosos resultam de sequências de períodos chuvosos originados pela passagem sucessiva de perturbações frontais e que, normalmente, não geram precipitações diárias com elevadas magnitudes.

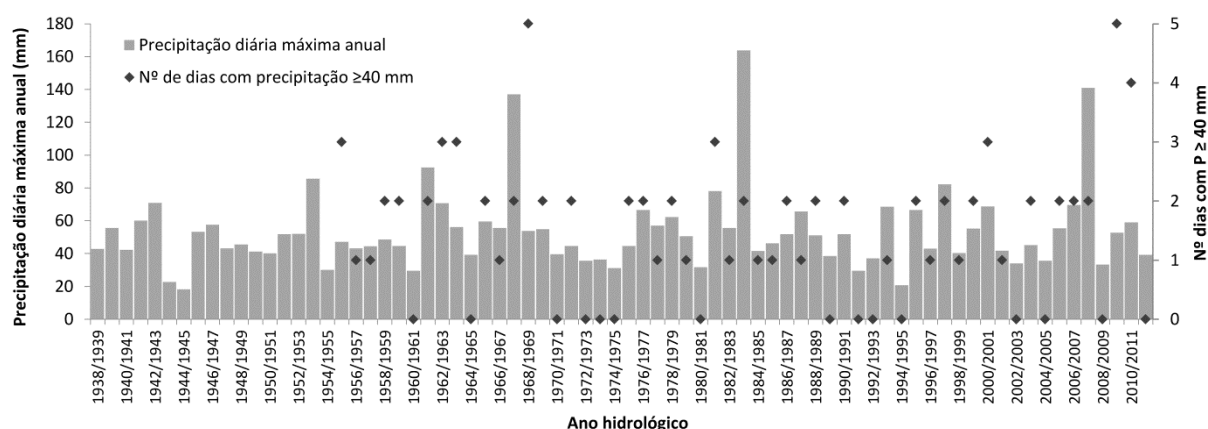


Figura 2.8 Precipitação diária máxima anual e número de dias com precipitação ≥ 40 mm na estação meteorológica de SJT.

Nota: a série de dados diários da estação de SJT inicia-se apenas a 1 de Outubro de 1955.

Na repartição espacial dos dias com precipitação ≥ 40 mm entre os anos hidrológicos de 1980/1981 e 1999/2000, a estação meteorológica que mais se destacou foi novamente Caneças (figura 2.9). Ao longo desses 20 anos, registaram-se 64 dias com precipitação igual ou superior a 40 mm nesta estação, estando muito acima dos números apresentados pelas restantes. A estação que mais se aproximou foi Vila Nogueira de Azeitão (47 dias). Os valores obtidos para estas duas estações denotam novamente a influência da altitude neste contexto. Aquelas que apresentaram os números mais baixos foram Alcochete (12 dias) e Cheleiros (13 dias). Note-se ainda que o padrão espacial apresentado na figura 2.9 assemelha-se ao das precipitações do percentil 99 (figura 2.7c), algo que está relacionado com a similitude entre os valores associados a este percentil (entre 37,5 mm e 52,7 mm) e o limiar das precipitações abundantes (40 mm).

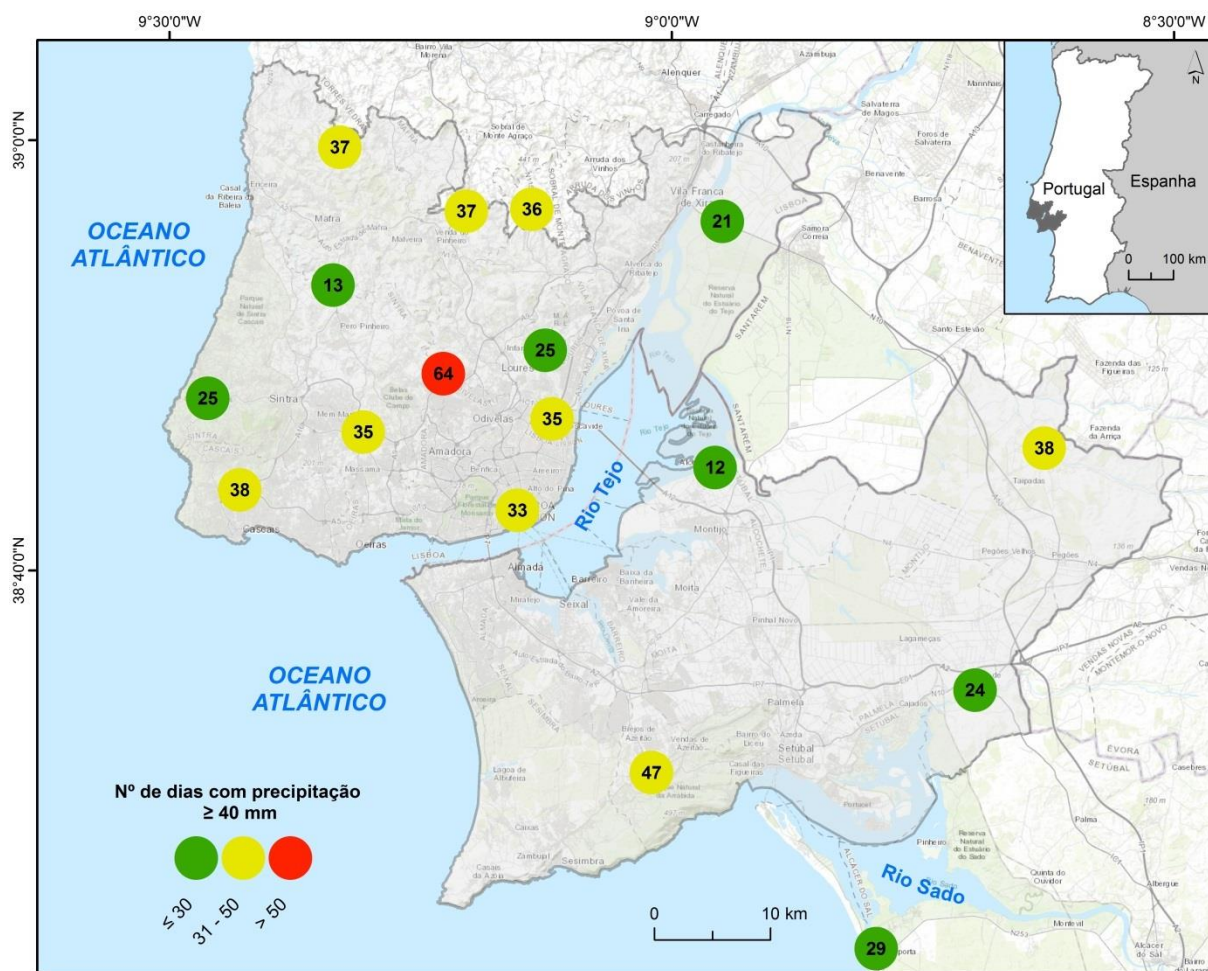


Figura 2.9 Número de dias com precipitação ≥ 40 mm nas estações meteorológicas da AML no período 1980/1981–1999/2000.

Também para as precipitações muito abundantes (≥ 100 mm diários) foi contabilizado o número de dias em que este limiar foi atingido ou superado durante o período 1980/1981 e 1999/2000. Das 17 estações meteorológicas consideradas, em 10 não se atingiram 100 mm diários: Águas de Moura, Alcochete, Canha, Cheleiros, Colares (Sarrazola), Comporta, Lisboa (Geofísico), Sobral da Abelheira, Vila Franca de Xira (Lezíria) e Vila Nogueira de Azeitão. Houve seis estações a registar um dia com precipitação ≥ 100 mm (Cacém, Caneças, Milharado, Quinta do Pisão, Sacavém de Cima e SJT) e uma estação em que foram atingidos 100 mm diários em dois dias (Arranhó). O evento extremo de Novembro de 1983 foi o responsável pela maioria destes dias, sendo que na AML Sul as precipitações desencadeadas por este evento não chegaram a 100 mm. Em Arranhó, para além do evento de 1983, foram registados valores diários ≥ 100 mm a 25 de Setembro de 1995 (145,6 mm). Como comparação, segundo Frago (2004), foram atingidos 100 mm diários em 10 dias em estações localizadas nas serras de Monchique e do Caldeirão, no Algarve interior, num período temporal mais curto (1983/1984-1997/1998). Isto demonstra que precipitações diárias ≥ 100 mm são bem menos frequentes na AML do que noutros locais do País.

2.5. EVENTOS EXTREMOS E A SUA EXCEPCIONALIDADE

Neste contexto, consideram-se eventos extremos de precipitação não só aqueles em que foram registadas precipitações diárias ≥ 100 mm, mas também que tenham causado danos humanos e/ou materiais importantes. Assim, os eventos de 25-26 de Novembro de 1967, 18-19 de Novembro de 1983 e 18 de Fevereiro de 2008 são, claramente, os que sobressaem no binómio magnitude-consequências⁷ e, a verdade, é que são dos poucos episódios de precipitação com valores ≥ 100 mm/dia ocorridos na AML durante as últimas décadas. Estabelecer tendências ou padrões temporais com base numa amostra tão curta de eventos excepcionais não é o mais correcto, no entanto, parece haver uma recorrência de 15/25 anos na AML no que concerne aos eventos extremos. Isto pode indicar que tais eventos podem deixar de ser assim tão atípicos, tendo em conta que ocorreram 3 nos últimos 50 anos. Num quadro de alterações climáticas, isto será algo a confirmar no futuro.

O primeiro evento extremo ocorreu na madrugada de 25 para 26 de Novembro de 1967, com o período de precipitação mais intensa a acontecer entre as 19h do dia 25 e a 1h do dia 26. A magnitude deste evento resultou da conjugação entre uma depressão convectiva formada na região da Madeira (Amaral, 1968; Ramos e Reis, 2001), uma frente fria muito activa oriunda dos Açores e a advecção de ar quente encaminhada pelo *jet* subtropical proveniente de sudoeste (Brum Ferreira, 1985). De acordo com os dados do IPMA, a precipitação máxima em 1h ocorreu na estação de Monte do Estoril, entre as 21h e as 22h, onde foram registados 60 mm. Os valores atingidos nesta estação são ainda mais impressionantes entre as 19h e as 23h, em que se registaram 127,3 mm em 4 horas.

O evento de 1983 iniciou-se na noite de 18 de Novembro e estendeu-se até à tarde do dia seguinte. Este adveio de uma depressão muito cavada localizada a sudoeste dos Açores que, mais tarde, se encaminhou para Portugal continental, e cuja instabilidade foi agravada pela invasão de ar frio em altitude, evoluindo em gota fria (Ramos e Reis, 2001; Liberato *et al.*, 2012). Costa (1986) aponta para uma precipitação máxima horária de 67 mm, ou seja, superior ao valor registado em 1967. Durante o período em que a precipitação atingiu a sua maior intensidade, entre as 0h e as 6h do dia 19, foram registados 103 mm na estação de Lisboa/Portela (Roxo e Ventura, 1986).

O evento de 18 de Fevereiro de 2008 surgiu como consequência de uma depressão complexa localizada a oeste da Península Ibérica (Moreira *et al.*, 2008; Fragoso *et al.*, 2010). O padrão de circulação sinóptica acabou por desencadear uma elevada instabilidade atmosférica e actividade convectiva perto de Portugal, aumentando de forma considerável quando chegou a terra durante o seu movimento para nordeste, afectando directamente a AML (Fragoso *et al.*, 2010). Os máximos de precipitação diários foram os mais elevados registados em duas estações situadas no município de

⁷ As consequências resultantes dos eventos de 1967, 1983 e 2008 serão analisadas nos capítulos 4 e 5.

Lisboa: 118,4 mm no Observatório Infante D. Luís e 129 mm em Lisboa (Gago Coutinho) (Moreira *et al.*, 2008; Fragoso *et al.*, 2010).

Considerando a disponibilidade de dados horários num conjunto alargado de estações meteorológicas (42), foi possível desenvolver uma análise mais detalhada relativamente ao evento de 2008. Os valores de precipitação registados em 1h, 3h, 6h e 24h são apresentados na tabela 2.3 e a sua distribuição espacial é visível na figura 2.10.

Tabela 2.3 Precipitações máximas registadas em 1, 3, 6 e 24 horas em várias estações meteorológicas durante o evento extremo de 2008.

Estações meteorológicas	Precipitação máxima				Estações meteorológicas	Precipitação máxima			
	1h	3h	6h	24h		1h	3h	6h	24h
Águas de Moura	28,5	44,2	53,8	73,3	Lisboa (Geofísico)	35,3	54,1	68,5	118,0
Alcochete	10,7	15,5	23,1	46,6	Loures	15,6	40,3	76,6	137,6
Almada (Praia da Rainha)	17,0	23,6	34,8	52,0	Lousa	18,9	30,1	52,3	98,9
Amadora	13,5	32,2	60,3	97,3	Malveira da Serra	8,5	13,7	21,1	49,7
Barragem de Magos*	6,6	14,9	21,0	44,8	Meca*	5,7	7,3	12,9	35,5
Barragem do Rio da Mula	7,9	17,2	25,8	66,5	Milharado	11,5	17,1	28,1	63,9
Barreiro	12,0	14,8	17,0	31,6	Monte da Caparica	53,1	67,1	89,1	127,3
Cabo Raso	5,1	12,3	19,9	51,3	Muge*	11,6	23,0	33,4	55,1
Cacém	31,2	51,5	80,3	134,2	Orjariça*	10,0	23,0	33,4	69,5
Calhandriz	10,8	21,0	38,6	92,6	Ota*	16,1	16,9	27,3	70,0
Caneças	17,8	33,2	57,0	116,1	Pontével*	9,0	18,4	28,3	52,9
Canha	17,1	23,5	29,4	38,1	Sacavém	24,0	50,9	95,5	153,6
Carapuçães (São Torcato)*	18,5	33,0	38,4	43,3	Santo Estevão*	7,8	13,7	20,5	43,4
Cheleiros	26,4	41,0	56,2	80,3	São Julião do Tojal	26,2	60,0	84,8	149,1
Comporta*	13,6	26,5	32,7	49,9	São Martinho de Casebres*	12,8	22,0	31,4	47,9
Linhó	7,4	14,2	21,1	47,3	Setúbal	39,1	64,6	79,4	89,0 [#]
Lisboa (Alvalade)	29,8	53,3	79,2	134,7	Sobral da Abelheira	10,0	23,4	38,1	58,9
Lisboa (Baixa)	19,6	32,9	45,6	76,2	Sobral de Monte Agraço*	6,9	10,7	16,4	41,6
Lisboa (Benfica)	30,0	52,6	99,7	150,3	Vendas Novas*	12,4	24,4	33,3	38,6
Lisboa (Estefânia)	29,6	47,4	63,7	102,5	Vila Franca de Xira	16,3	34,8	56,0	95,1
Lisboa (Gago Coutinho)	30,0	52,4	83,9	129,0	Vila Nogueira de Azeitão	22,8	35,5	41,4	88,7

* Estações localizadas fora dos limites da AML.

[#] A estação não possui registos durante 3 horas.

A precipitação máxima em 1h na AML foi registada na estação meteorológica do Monte da Caparica (53,1 mm), abaixo dos máximos horários atingidos durante os eventos de 1967 e de 1983 (tabela 2.3). Apesar de inferior à dos outros dois eventos extremos, a precipitação máxima horária no Monte da Caparica foi bastante superior às registadas nas outras estações (figura 2.10a). Os valores seguintes foram atingidos em Setúbal (39,1 mm), Lisboa (Geofísico) (35,3 mm) e Cacém (31,2 mm) (tabela 2.3 e figura 2.10a). O valor máximo em 3h ocorreu também na estação do Monte da Caparica (67,1 mm), embora as diferenças não sejam tão acentuadas, já que Setúbal e SJT chegaram a 60 mm (tabela 2.3 e figura 2.10b). Em 6h, a precipitação máxima foi registada na estação de Lisboa (Benfica)

(99,7 mm), à qual se seguiram 5 estações acima de 80 mm: Sacavém (95,5 mm), Monte da Caparica (89,1 mm), SJT (84,8 mm), Lisboa (Gago Coutinho) (83,9 mm) e Cacém (80,3 mm) (tabela 2.3 e figura 2.10c). Por último, verificaram-se precipitações acima de 130 mm em 24 horas nas seguintes estações: Sacavém (153,6 mm), Lisboa (Benfica) (150,3 mm), SJT (149,1 mm), Loures (137,6 mm), Lisboa (Alvalade) (134,7 mm) e Cacém (134,2 mm) (tabela 2.3 e figura 2.10d). Devido à acentuada amplitude existente entre a precipitação máxima (153,6 mm) em Sacavém e a precipitação mínima (31,6 mm) no Barreiro, houve necessidade de introduzir uma classe adicional de precipitação na figura 2.10d.

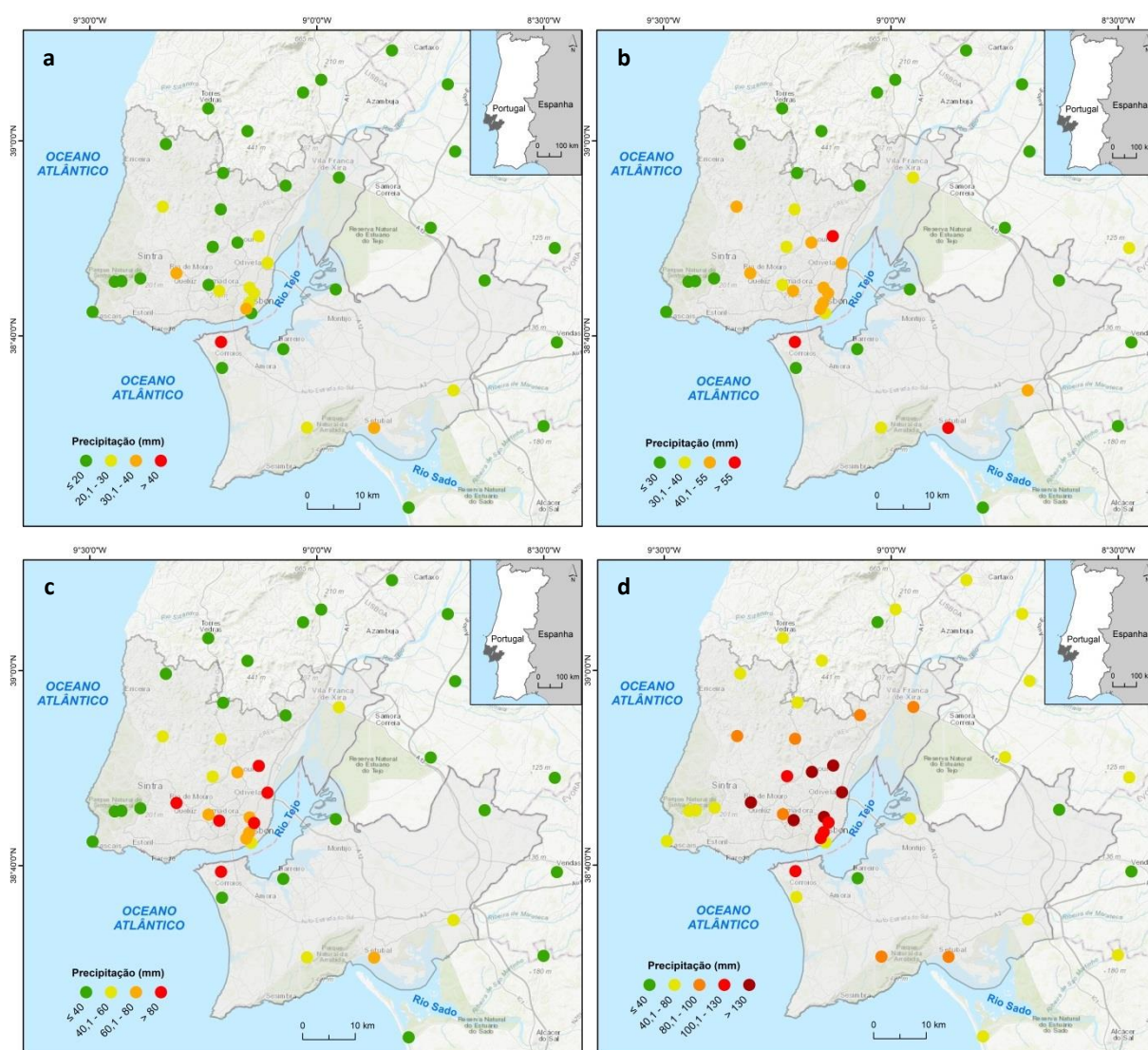


Figura 2.10 Distribuição espacial das precipitações máximas registadas em 1h (a), 3h (b), 6h (c) e 24h (d) em várias estações meteorológicas durante o evento extremo de 2008.

A distribuição da precipitação nas diversas durações consideradas demonstra um confinamento espacial da tempestade, em que se realça a existência de um núcleo de maior intensidade que afectou, essencialmente, os municípios de Loures (sul), Odivelas (este) e Lisboa

(norte) (figura 2.10). A representação espacial da precipitação máxima em 24h confirma a existência de um núcleo alongado, com orientação sudoeste-nordeste, em que a precipitação superou 140 mm (figura 2.11). À medida que a distância a este núcleo aumenta, a precipitação tende a diminuir. Já durante o final da manhã e início da tarde, desenvolveu-se um segundo núcleo na AML Sul, ainda que de menor magnitude, e que afectou essencialmente o concelho de Setúbal (figura 2.11). Confirma-se que a distribuição espacial da precipitação nestes eventos extremos em nada está relacionada com a altitude, que é o principal factor a influenciar os valores médios e dos percentis na AML, mas sim com a trajectória das tempestades.

Um bom indicador da magnitude dos eventos de Novembro de 1967, Novembro de 1983 e Fevereiro de 2008 é a comparação entre a precipitação máxima registada em 24 horas durante estes eventos e os quantitativos médios mensais dos respectivos meses. Através dos registos da estação de SJT, percebe-se que os valores máximos de precipitação em 24 horas atingidos durante os eventos de 1967 (137,8 mm), 1983 (181 mm) e 2008 (149,1 mm) excedem largamente os valores mensais médios de Novembro (100,5 mm) e Fevereiro (89,4 mm). Contudo, são os períodos de retorno que quantificam a sua magnitude.

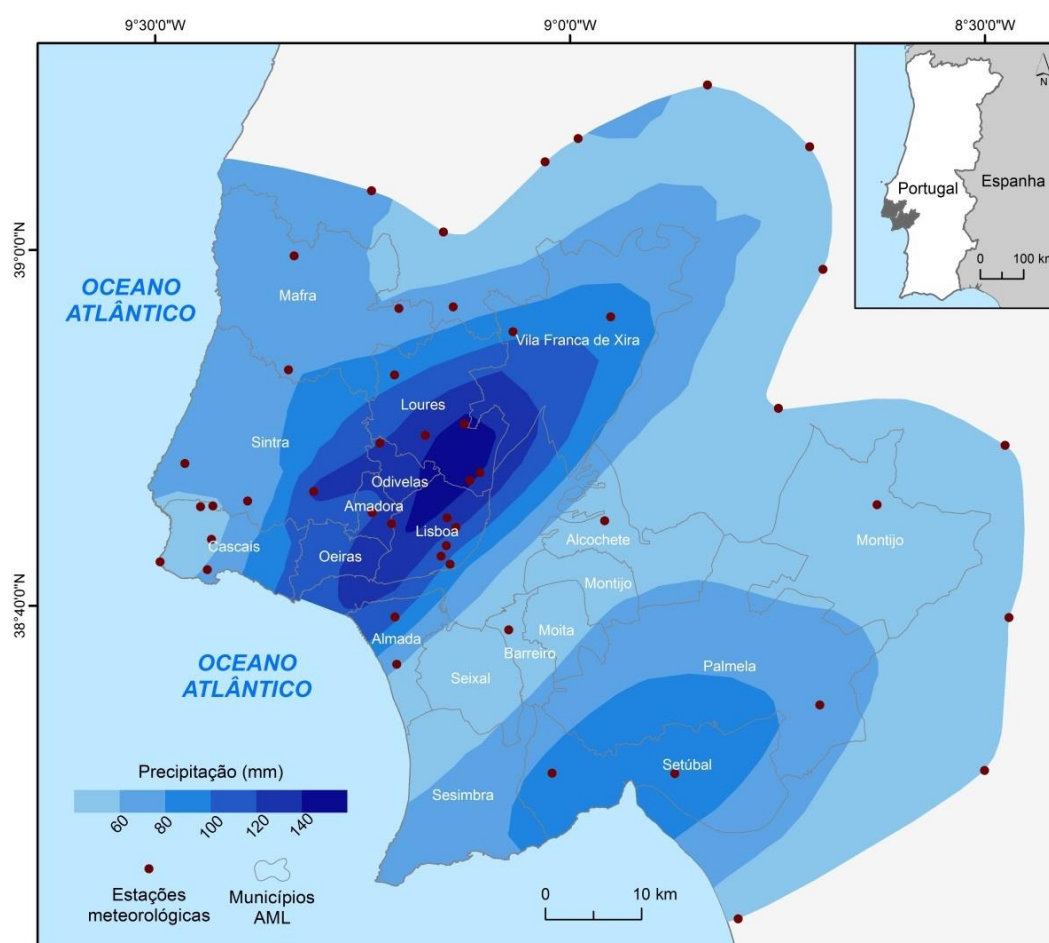


Figura 2.11 Distribuição espacial da precipitação máxima registada em 24 horas na AML durante o evento extremo de 2008.

Os valores de precipitação associados a várias durações e períodos de retorno na estação de SJT podem ser observados na tabela 2.4, tal como os valores de precipitação dos três eventos extremos. Como demonstram as curvas IDF, estes três eventos apresentaram algumas características similares e outras distintas no que concerne à evolução temporal e à excepcionalidade da precipitação (figura 2.12). A primeira das semelhanças é o seu grau de excepcionalidade, dado que os três eventos se aproximaram ou ultrapassaram o período de retorno de 100 anos em diversas durações (tabela 2.4). Por outro lado, o período de retorno dos três eventos tende a incrementar à medida que as durações aumentam (figura 2.12). Refira-se também que, em ambos, a recorrência das precipitações máximas registadas em 1h situa-se entre 5 e 10 anos (tabela 2.4 e figura 2.12), o que significa que não foram os valores registados em 1h que explicaram os avultados danos humanos/materiais causados por estes eventos.

Tabela 2.4 Precipitações para diferentes períodos de retorno e para os eventos extremos de 1967, 1983 e 2008 na estação meteorológica de SJT.

Período retorno	Precipitação (mm)										
	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	18h	24h
2 anos	17,9	23,7	28,0	31,4	34,4	36,0	40,6	44,2	47,2	49,8	54,3
5 anos	25,7	35,3	42,5	48,4	53,6	58,0	64,1	68,8	72,7	76,0	81,6
10 anos	30,9	43,0	52,1	59,7	66,4	72,5	79,5	85,0	89,5	93,3	99,7
20 anos	35,9	50,3	61,4	70,6	78,7	86,5	94,6	100,7	105,7	110,1	117,2
50 anos	42,3	59,9	73,3	84,7	94,7	104,2	113,3	120,3	126,1	130,9	139,0
100 anos	47,2	67,1	82,4	95,3	106,8	118,2	128,4	136,1	142,4	147,7	156,6
Evento 1967	30,0	56,0	80,0	98,0	110,6	117,9	128,5	133,2	136,2	137,8	137,8
Evento 1983	27,2	52,7	78,2	99,6	118,5	127,1	151,7	166,8	174,0	176,6	181,0
Evento 2008	26,2	47,9	60,0	66,7	77,0	84,8	102,9	115,1	123,0	125,7	149,1

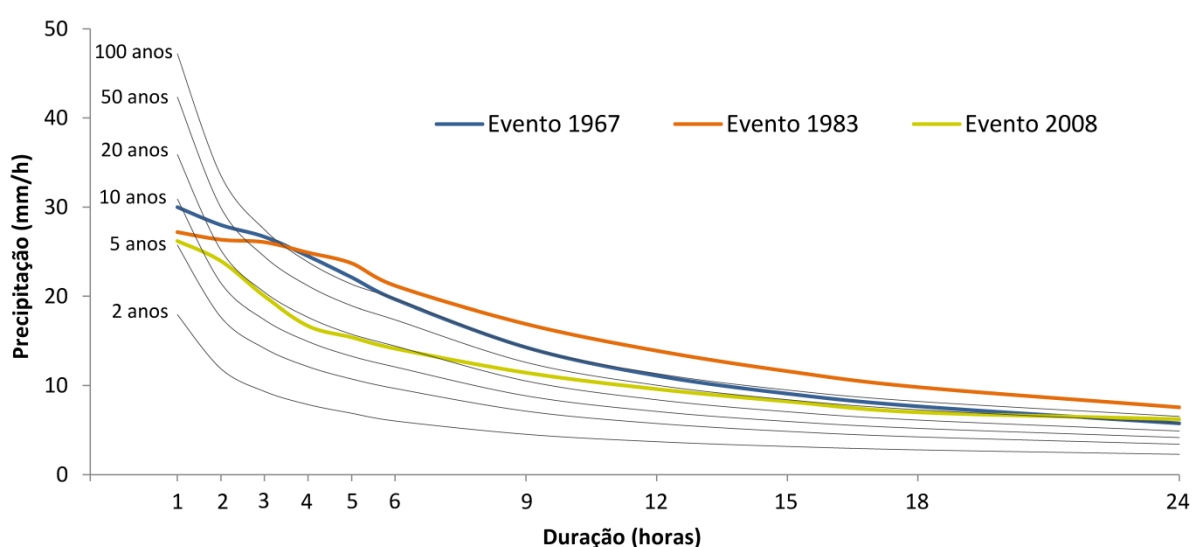


Figura 2.12 Curvas IDF para diferentes períodos de retorno e para os eventos extremos de 1967, 1983 e 2008 na estação meteorológica de SJT.

No evento de 1967 destacaram-se as precipitações máximas ocorridas em 4h, 5h e 9h, que excederam o período de retorno de 100 anos, ainda que as duas curvas IDF (1967 e 100 anos) praticamente se decalquem entre as 3h e as 12h (tabela 2.4 e figura 2.12). A partir daí verificou-se uma redução na magnitude do evento, com as precipitações de 18h e 24h a apresentarem períodos de retorno inferiores a 50 anos (tabela 2.4). O facto de as maiores magnitudes terem ocorrido entre as 3h e as 9h tornou este evento muito perigoso devido à coincidência com os tempos de concentração da maioria das bacias hidrográficas que drenam a AML (Leal, 2011; Trigo *et al.*, 2016). Assim, o evento de 1967 foi o que registou as precipitações mais elevadas dos três eventos extremos nas durações mais curtas (até às 3h) (figura 2.12).

O evento de 1983 foi o que deteve a maior magnitude desde que a estação de SJT entrou em funcionamento. Das 4h em diante, os valores estiveram sempre acima de 100 anos de período de retorno, superando, a partir daí, os valores atingidos pelo evento de 1967 (figura 2.12). Na verdade, a recorrência do evento de 1983 para algumas durações terá sido bem superior a 100 anos, uma vez que, a diferença entre ambos cifrou-se num valor superior a 30 mm às 12h e às 15h (tabela 2.4).

O evento de 2008 apresentou características distintas dos referidos acima. Em primeiro lugar, a sua magnitude foi claramente inferior à dos eventos de 1967 e de 1983 na grande maioria das durações. Por outro lado, a magnitude do evento de 2008 aumentou para as durações mais longas (igual ou superior a 9h) e de forma contínua com a extensão da duração (tabela 2.4 e figura 2.12). Os períodos de retorno das precipitações registadas na estação de SJT para durações inferiores a 9h foram sempre inferiores a 20 anos, ultrapassando 50 anos apenas para 24h (tabela 2.4 e figura 2.12). De resto, o período de 24 horas no evento de 2008 foi o único cuja intensidade da precipitação excedeu a alcançada durante um dos outros eventos extremos, neste caso o de 1967.

Por fim, vale a pena clarificar que a determinação da recorrência dos eventos de precipitação na estação de SJT foi efectuada apenas com recurso às curvas IDF devido à maior aproximação à realidade dos resultados obtidos. Por exemplo, através da lei de Gumbel, o período de retorno estimado para a precipitação diária no evento de 2008 nesta estação é, segundo Fragozo *et al.* (2010), de 160 anos. Recorde-se que as curvas IDF de SJT apontaram para um período de retorno inferior a 100 anos e que ocorreram mais dois eventos com magnitudes aproximadas nos últimos 50 anos. Isto significa que os resultados obtidos através da distribuição de Gumbel originam uma sobrestimação dos períodos de retorno.

SÍNTESE DO CAPÍTULO 2

A localização da AML no contexto português e as suas características geográficas fazem com que os quantitativos de precipitação não sejam tão elevados como noutros locais do País. Isto manifesta-se tanto nos valores anuais e mensais médios, como nas precipitações intensas.

A precipitação anual média na AML ultrapassa 1000 mm na serra de Sintra e não atinge 500 mm nos cabos da Roca, Raso e Espichel. Através dos registos de 17 estações meteorológicas, o valor anual médio mais elevado foi obtido para a estação de Caneças (966,3 mm) e o mais baixo para a estação de Alcochete (531,4 mm). A relação entre a precipitação anual média e a altitude é considerável ($R^2 = 0,62$), o que permite compreender que a altitude é o principal factor a influenciar a distribuição espacial da precipitação. No entanto, há outros factores que exercem influência nos valores anuais médios e propiciam a existência de um contraste norte-sul. A posição de abrigo em relação aos ventos dominantes de norte e noroeste e a menor rugosidade topográfica da AML Sul contribuem para que a precipitação anual não atinja níveis tão elevados como os da AML Norte.

Seguindo o padrão português, a irregularidade inter e intra-anual da precipitação é acentuada nesta região. Na estação de SJT, a diferença entre o ano mais chuvoso (2009/2010) e o ano mais seco (1944/1945) é superior a 900 mm. Nesta estação não se verifica qualquer tendência de evolução temporal nos valores anuais, à semelhança do que acontece no restante território. A distribuição da precipitação ao longo dos meses é típica do clima mediterrâneo, observando-se um contraste entre a estação chuvosa (de Outubro a Fevereiro) e a estação seca (de Março a Setembro). Os maiores quantitativos de precipitação ocorrem nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro. Este regime de precipitação intra-anual é mais evidente na AML Norte, equiparando-se ao existente no Norte e Centro do País. A AML Sul pode enquadrar-se no regime verificado no Sul do País, em que a importância da precipitação ocorrida em Outubro diminui e a de Março cresce. Tal como sucede a nível anual, os valores médios mais elevados foram registados na estação de Caneças na maioria dos meses, enquanto os valores mais baixos observaram-se na estação de Alcochete.

As precipitações diárias mais elevadas nesta região foram desencadeadas pelos eventos extremos de 1967, 1983 e 2008. Os dois primeiros excederam o período de retorno de 100 anos em diversas durações na estação de SJT. No caso do evento de 1967, as precipitações ultrapassaram o valor centenário para as durações de 4h, 5h e 9h, enquanto no evento de 1983, as precipitações excederam 100 anos a partir de 4h. Pode dizer-se que este evento foi o que apresentou a maior magnitude dos que afectaram a estação de SJT, pois foi aquele que atingiu os períodos de retorno mais elevados e durante o qual se alcançou o valor máximo em 24h registado na AML⁸: 181 mm. Dos

⁸ Não é possível garantir que o valor de 181 mm em 24h foi o mais elevado que ocorreu na AML durante o último século, pois não existem dados horários nem udogramas dos eventos extremos para as restantes estações meteorológicas. 181 mm em 24h são, por isso, o valor mais elevado registado na AML.

três eventos extremos, o evento de 2008 foi o que atingiu menor magnitude na estação de SJT, com excepção da duração 24h, em que ultrapassou a do evento de 1967. Todavia, as precipitações diárias durante este evento foram as mais elevadas já registadas em duas estações meteorológicas localizadas no município de Lisboa: Observatório Infante D. Luís e Lisboa (Gago Coutinho). A distribuição espacial da precipitação ocorrida durante o evento de 2008 justifica estes factos, dado que se verificou um núcleo de maior intensidade de precipitação nas partes norte do concelho de Lisboa, sul do concelho de Loures e este do concelho de Odivelas. No caso dos eventos excepcionais (1967, 1983 e 2008), a repartição espacial da precipitação depende, essencialmente, da trajectória da tempestade desencadeante e não da altitude, como ocorre com os valores médios, os percentis e as precipitações abundantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - CAPÍTULO 2

- Alcoforado, M.J., 1991. O Clima de Portugal. Diversidade climática de Portugal Continental, in: Gaspar, J. (Ed.), Portugal Moderno. Grafeline, pp. 37–61.
- Alcoforado, M.J., 1992. O clima da região de Lisboa. Contrastes e ritmos térmicos. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, volume 15.
- Alcoforado, M.J., Alegria, M.F., Ramos-Pereira, A., Sirgado, C., 2009. Domínios bioclimáticos em Portugal definidos por comparação dos índices de Gaussen e de Emberger, 3^a. ed. Núcleo Clima e Mudanças Ambientais, Centro de Estudos Geográficos.
- Amaral, I., 1968. As inundações de 25/26 de Novembro de 1967 na região de Lisboa. Finisterra 3, 79–84. doi:10.18055/Finis2513
- Andrade, H., 2003. Bioclima humano e temperatura do ar em Lisboa. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Brandão, C., Rodrigues, R., Costa, J.P., 2001. Análise de fenómenos extremos: precipitações intensas em Portugal Continental. Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos, Lisboa.
- Brum Ferreira, D., 1985. Les depressions convectives du bassin Atlantique nord subtropical oriental. Finisterra 20, 25–45. doi:10.18055/Finis2065
- Brum Ferreira, D., 2005. O ambiente climático, in: Medeiros, C.A. (Ed.), Geografia de Portugal – o Ambiente Físico. Círculo de Leitores, Lisboa, pp. 305–385.
- Corte-Real, J., Qian, B., Xu, H., 1998. Regional climate change in Portugal: precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation. Int. J. Climatol. 18, 619–635. doi:10.1002/(SICI)1097-0088(199805)18:6<619::AID-JOC271>3.0.CO;2-T
- Costa, P.C., 1986. As Cheias Rápidas de 1967 e 1983 na Região de Lisboa, in: Brito, R.S. (Ed.), Estudos Em Homenagem a Mariano Feio. pp. 601–616.
- Daveau, S., 1977. Répartition et rythme des précipitations au Portugal. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- Durão, R., Pereira, M.J., Costa, A.C., Corte-Real, J.M., Soares, A., 2009. Indices of precipitation extremes in Southern Portugal—a geostatistical approach. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 9, 241–250. doi:10.5194/nhess-9-241-2009
- Espírito Santo, F., Ramos, A.M., Lima, M.I.P., Trigo, R.M., 2014. Seasonal changes in daily precipitation extremes in mainland Portugal from 1941 to 2007. Reg. Environ. Chang. 14, 1765–1788. doi:10.1007/s10113-013-0515-6
- Fragoso, M., 2004. O contexto atmosférico dos episódios de precipitações intensas no Sul de Portugal. Relatório nº 39, Área de Investigação de Geografia Física e Ambiente, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- Fragoso, M., Trigo, R.M., Zêzere, J.L., Valente, M.A., 2010. The exceptional rainfall event in Lisbon on 18 February 2008. Weather 65, 31–35. doi:10.1002/wea.513
- Fragoso, M., Ramos, C., Lopes, A., Alcoforado, M.J., Silva, S., Palma, A., Boavida-Portugal, I., 2011. Assessment of frequency-magnitude of extreme rainfall events and flooding—Portugal, in: N1.2 Report WP1. Secoa—Solutions for Environmental Contrasts in Coastal Areas, Project: 244251 FP7- ENV.2009.2.1.5.
- Gomes, P.T., 2012. Variabilidade da precipitação em Portugal e relações com o sistema oceano-atmosfera no Atlântico Norte. Finisterra 33, 77–89. doi:10.18055/Finis1701
- Leal, M., 2011. As cheias rápidas em bacias hidrográficas da AML Norte: factores condicionantes e

- desencadeantes. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- Lencastre, F.M., Franco, A., 1984. Lições de Hidrologia. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Liberato, M.L.R., Ramos, A.M., Trigo, R.M., Trigo, I.F., Durán-Quesada, A.M., Nieto, R., Gimeno, L., 2012. Moisture sources and large-scale dynamics associated with a flash flood event. *Geophys. Monogr. Ser.* 200, 111–126. doi:10.1029/2012GM001244
- Lima, M.I.P., Marques, A.C., Lima, J.L.M.P., 2005. Análise da tendência da precipitação anual e mensal no período 1900-2000, em Portugal Continental. *Territorium* 12, 11–18.
- Lima, M.I.P., Espírito Santo, F., Ramos, A.M., Lima, J.L.M.P., 2013. Recent changes in daily precipitation and surface air temperature extremes in mainland Portugal, in the period 1941-2007. *Atmos. Res.* 127, 195–209. doi:10.1016/j.atmosres.2012.10.001
- Moreira, N., Silva, Á., Prates, F., Ferreira, J., Neto, J., Bugalho, L., Lopes, M.J., Mendes, M., Frada, M.J., Pinto, P., Cota, T., Cabrinha, V., 2008. Cheias de 18 de Fevereiro de 2008. Relatório DMC/CIME-01/2008. Instituto de Meteorologia.
- Pereira, S., Ramos, A.M., Rebelo, L., Trigo, R.M., Zêzere, J.L., 2018. A centennial catalogue of hydro-geomorphological events and their atmospheric forcing. *Adv. Water Resour.* 122, 98–112. doi:10.1016/j.advwatres.2018.10.001
- Portela, M.M., Quintela, A.C., 1998. Índícios de mudança climática em séries de precipitação em Portugal Continental. *Recur. Hídricos* 19, 41–74.
- Ramos-Pereira, A., 2003. Geografia Física e Ambiente, in: *Atlas Da Área Metropolitana de Lisboa*. pp. 44–65. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Ramos, C., 1986. Tipos de anticiclones e ritmo climático de Portugal. *Linha de Ação de Geografia Física (relatório nº 25)*, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa. doi:10.13140/2.1.2387.7929
- Ramos, C., Reis, E., 2001. As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas. *Finisterra* 36, 61–82. doi:10.18055/Finis1648
- Rodrigues, R., Brandão, C., Álvares, T., 1998. Qual o grau de excepcionalidade das cheias ocorridas no início do ano hidrológico de 1997/98 ?, in: *4º Congresso Da Água*. Lisboa.
- Roxo, M.J., Ventura, J.E., 1986. As inundações catastróficas de Novembro de 1983 na Região de Lisboa, in: Brito, R.S. (Ed.), *Estudos Em Homenagem a Mariano Feio*. pp. 391–405.
- Santos, M., Fragoso, M., 2013. Precipitation variability in Northern Portugal: Data homogeneity assessment and trends in extreme precipitation indices. *Atmos. Res.* 131, 34–45. doi:10.1016/j.atmosres.2013.04.008
- Santos, M., Santos, J.A., Fragoso, M., 2017. Atmospheric driving mechanisms of flash floods in Portugal. *Int. J. Climatol.* 37, 671–680. doi:10.1002/joc.5030
- Santos, M., Fonseca, A., Fragoso, M., Santos, J.A., 2018. Recent and future changes of precipitation extremes in mainland Portugal. *Theor. Appl. Climatol.* doi:10.1007/s00704-018-2667-2
- Trigo, R.M., DaCamara, C.C., 2000. Circulation weather types y their influence on the precipitation regime in Portugal. *Int. J. Clim.* 20, 1559–1581. doi:10.1002/1097-0088(20001115)20:13<1559::AID-JOC555>3.0.CO;2-5
- Trigo, R.M., 2011. The Impacts of the NAO on Hydrological Resources of the Western Mediterranean, in: Vicente-Serrano, S., Trigo, R.M. (Eds.), *Hydrological, Socioeconomic and Ecological Impacts of the North Atlantic Oscillation in the Mediterranean Region*. Springer, Dordrecht, pp. 41–56. doi:10.1007/978-94-007-1372-7_4

Trigo, R.M., Ramos, C., Pereira, S.S., Ramos, A.M., Zêzere, J.L., Liberato, M.L.R., 2016. The deadliest storm of the 20th century striking Portugal: Flood impacts and atmospheric circulation. *J. Hydrol.* 541, 597–610. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.10.036

PARTE II

CHEIAS E INUNDAÇÕES URBANAS NA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA

CAPÍTULO 3

TIPOS DE INUNDAÇÕES E FONTES DE INFORMAÇÃO

O capítulo 3 constitui a base teórica da Parte II desta dissertação. Aqui serão discutidos os conceitos que estão ligados aos diversos tipos de inundações desencadeados por precipitação. Se os conceitos e abrangência das inundações fluviais, como as cheias progressivas e cheias rápidas, são claros, no que concerne às inundações urbanas isso não acontece. Neste âmbito, a ausência de consenso na comunidade científica e as conseqüentes dificuldades em associar ocorrências aos vários tipos de inundações urbanas presentes na bibliografia comprometem a verdadeira compreensão destes fenómenos. Daqui resulta que muitos investigadores considerem que todas as inundações que ocorrem em ambiente urbano são inundações urbanas. Na verdade, as características e o comportamento hidrológico e hidráulico são muito diferentes, e isso reflecte-se nos danos gerados.

É a estabilização dos conceitos ligados às cheias e inundações e a possibilidade de as associar às ocorrências que permitirá a quantificação, nos capítulos 4 e 5, dos danos humanos e materiais ocorridos na AML. A compilação da informação relativa a estes danos ao longo do tempo é a outra face, igualmente fundamental, deste tipo de trabalhos. São as bases de dados que permitem aos investigadores analisarem as conseqüências resultantes de um ou mais fenómenos perigosos, do ponto de vista espacial e temporal. As bases de dados podem ser elaboradas a diferentes escalas de análise e por diversos organismos públicos e privados, constituindo a segunda secção do capítulo 3.

3.1. CHEIAS E INUNDAÇÕES: CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO

A Directiva 2007/60/CE, transposta para a realidade portuguesa pelo Decreto-Lei nº 115/2010, define inundação (*flooding*) como a “cobertura temporária por água de uma terra normalmente não coberta por água”. Esta é uma forma simples de explicar o que é uma inundação, embora aborde apenas o processo do ponto de vista do resultado/consequência. Pode dizer-se que uma inundação ocorre quando uma rede de drenagem recebe mais água do que a que consegue suportar (NRC, 2005). A introdução do excesso de água num sistema natural ou mais ou menos artificializado pode dever-se a causas muito distintas: chuva de curta duração, mas intensa; chuvas prolongadas; fusão rápida da neve ou do gelo; ruptura de barragens ou de diques; obstáculos ao escoamento; subida da toalha freática; *storm surge*; *tsunamis*; movimentos de vertente; ou rupturas de condutas na via pública (Pilgrim e Cordery, 1993; Ramos, 2009). Note-se que as inundações podem ser desencadeadas por uma ou mais das causas referidas, por exemplo quando se verifica o efeito combinado da chuva e da maré alta. Devido às características físicas e antrópicas dos territórios e aos diversos factores que podem estar na génese das inundações, estas podem ser de diferentes tipos: cheias ou inundações fluviais (*floods*), inundações resultantes da subida da toalha freática (*groundwater flooding*), inundações costeiras (*coastal flooding*) e inundações urbanas (*urban flooding*). Tendo em conta os objectivos desta dissertação, as características da área de estudo e as fontes de informação (bases de dados) utilizadas, daqui em diante serão apenas discutidas e analisadas as cheias e as inundações urbanas.

3.1.1. Cheias progressivas e cheias rápidas

As cheias podem ser definidas como fenómenos hidrológicos extremos, de frequência variável, naturais ou induzidos pela acção humana, e que consistem no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundação dos terrenos ribeirinhos (leito de cheia) (Chow, 1956). Ainda que seja algo que gere alguma discussão no meio académico, as cheias pressupõem sempre a inundação das margens de um curso de água, independentemente da sua importância ou dimensão. Logo, pode dizer-se que todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações são causadas por cheias (Ramos, 2009). Em função das características da precipitação desencadeante e das bacias hidrográficas onde ocorrem, as cheias podem ser subdivididas em cheias progressivas e cheias rápidas.

As cheias progressivas ou lentas (*slow floods*, *slow-rising floods* ou *slow-onset floods*) ocorrem sobretudo nos rios com grandes bacias hidrográficas e são desencadeadas por períodos de precipitação que se prolongam durante semanas a meses ou pela fusão da neve. Em Portugal, a manutenção deste tipo de situação meteorológica está relacionada com a permanência da circulação

zonal de Oeste, em que se verifica a passagem de sucessivas depressões sub-polares e de sistemas frontais associados (Ramos e Reis, 2001). Para que os rios entrem em situação de cheia, é necessário que estes longos períodos chuvosos provoquem a saturação progressiva dos solos e o enchimento gradual das albufeiras das barragens (quando existem) (Ramos, 2005). O facto de demorarem muito tempo a formarem-se permite o alerta e a evacuação atempada das populações afectadas, o que torna as cheias progressivas em fenómenos naturais pouco perigosos, cuja probabilidade de causar vítimas mortais é diminuta, sobretudo em países desenvolvidos. A capacidade de encaixe do escoamento por parte das barragens e a correcta gestão das suas descargas é também fundamental para evitar ou minimizar os impactes das cheias.

No caso das cheias rápidas (*flash floods*) existem várias definições, podendo ser mais ou menos complexas. Trata-se de cheias que atingem elevados caudais de ponta, geradas por tempestades severas e que, normalmente, se restringem a uma área limitada (IAHS, 1974). Segundo o glossário de meteorologia da *American Meteorological Society* (AMS), as cheias rápidas são causadas pela rápida subida do nível da água dos cursos de água, geralmente em resultado de precipitações intensas em pequenas áreas, ou de precipitações moderadas a intensas em superfícies muito saturadas ou impermeáveis (AMS, 2000). Para além da precipitação, de acordo com a NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), as cheias rápidas também podem resultar de rupturas de barragens ou diques ou de uma libertação repentina da água anteriormente aprisionada pela acumulação de gelo (*ice jam*).

Tempo e espaço são dimensões interligadas e fundamentais no âmbito das cheias rápidas. É frequente encontrar a referência a poucas horas entre a precipitação desencadeante e a ocorrência da cheia como limiar máximo para este tipo de inundações (Marchi *et al.*, 2010; Llasat *et al.*, 2016), mas as durações específicas de 6 horas (Barredo, 2007; Borga *et al.*, 2014; Llasat *et al.*, 2016) ou de 12 horas também são mencionadas (Georgakakos, 1986; Gaume *et al.*, 2009). Importa referir que estes valores são apenas empíricos, podendo ser adequados para um determinado local e não o serem para outro (Kobiyama e Goerl, 2007). Logo, utilizar um limiar máximo de tempo como critério de separação entre cheias rápidas e cheias progressivas pode não ser a melhor solução. Por outro lado, a maioria dos autores aponta as bacias hidrográficas com áreas inferiores a 1000 km² como aquelas em que podem ocorrer cheias rápidas (Barrera *et al.*, 2006; Marchi *et al.*, 2010; Borga *et al.*, 2014; Ruiz-Bellet *et al.*, 2015; Llasat *et al.*, 2016).

As cheias rápidas são um dos fenómenos mais perigosos e destruidores a nível mundial (Gaume e Borga, 2008; Gaume *et al.*, 2009; Marchi *et al.*, 2010), tendo uma importância muito acentuada na região do Mediterrâneo (Barnolas e Llasat, 2007; Barredo, 2007; Gaume *et al.*, 2009; Diakakis e Deligiannakis, 2017; Pereira *et al.*, 2017). Tal como noutros países mediterrânicos (Jansá *et al.*, 2001; Llasat *et al.*, 2005; Barrera *et al.*, 2006; Barriendos e Rodrigo, 2006; Marchi *et al.*, 2010;

Diakakis, 2014), em Portugal este tipo de inundações ocorre, sobretudo, no Outono (Leal, 2011, 2013; Zêzere *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2016b), como consequência de depressões convectivas: gotas de ar frio ou depressões devidas à interacção entre as circulações polar e tropical (Ramos e Reis, 2001). A formação de gotas de ar frio beneficia da elevada temperatura do oceano Atlântico depois do Verão, do enfraquecimento do anticiclone dos Açores e da intensificação da circulação meridiana (Ramos e Reis, 2001; Ruiz-Bellet *et al.*, 2015; Llasat *et al.*, 2016). No caso das depressões resultantes da interacção entre as circulações polar e tropical, estas dependem da intensidade convectiva da Convergência Intertropical (CIT) e da sua relação com as invasões de ar frio que são capazes de atingir as latitudes subtropicais (Brum Ferreira, 1985).

O perigo que as cheias rápidas representam advém do curto tempo de resposta das bacias hidrográficas, dos elevados caudais atingidos e da elevada carga sólida que os cursos de água são capazes de transportar. Acresce que estas características tornam praticamente impossível o aviso e/ou a evacuação das populações expostas aquando da sua ocorrência.

3.1.2. Inundações urbanas

Tal como nas cheias rápidas, as precipitações com elevada intensidade num curto espaço de tempo são também a causa predominante das denominadas inundações urbanas. Estas ocorrem, como o próprio indica, em áreas urbanas ou em áreas fortemente artificializadas. A impermeabilização dos solos/terrenos leva à diminuição da infiltração, sendo que a precipitação que anteriormente se infiltrava, transforma-se em escoamento superficial directo. Para além do aumento do volume, também a velocidade do escoamento superficial aumenta devido à menor rugosidade dos materiais utilizados em espaços construídos, o que, por sua vez, provoca reduções nos tempos de concentração e de resposta das bacias hidrográficas.

Os sistemas de drenagem artificiais existem para resolver o défice de infiltração e, consequentemente, para evitar as inundações (DeSilva *et al.*, 2011; Cherqui *et al.*, 2015). As complexas redes de drenagem subterrâneas existentes nas áreas urbanizadas têm como objectivo retirar a água da superfície, evitando a sua acumulação. Como tal, as águas provenientes da precipitação têm de ser “capturadas” ao longo de numerosas sarjetas, de modo a que cheguem rapidamente ao sistema de drenagem artificial subterrâneo. Tal como Butler e Davies (2004) referem, nas áreas urbanas existem dois tipos de água que requerem drenagem: pluviais e residuais. Estas podem ser drenadas de forma separada ou combinada, sendo a última a opção mais comum. Refira-se igualmente que, a canalização subterrânea das ribeiras faz com que estas sejam, normalmente, integradas nesta rede artificial.

É frequente não existirem ribeiras à superfície nas cidades maiores/mais antigas, pois, durante algumas décadas optava-se por canalizar subterraneamente ou aterrar os cursos de água. Tal permitia, não só eliminar visualmente as linhas de água, que, muitas vezes, eram espaços com problemas de saúde pública devido à acumulação de lixo e à falta de tratamento das águas residuais, como também possibilitava o desaparecimento das cheias rápidas. Por outro lado, estas áreas ficavam disponíveis para construção depois destas intervenções. Actualmente, esta opção de ordenamento do território já não é utilizada, preferindo-se dar espaço à água, de modo a que possa ocupar os seus leitos naturais. Em alguns casos, tem-se mesmo procedido à renaturalização dos cursos de água.

O cenário da canalização massiva das linhas de água fez com que muitas cidades passassem a ser exclusivamente afectadas por inundações (urbanas), mais frequentes do que as cheias rápidas, embora menos destrutivas (Spekkers *et al.*, 2013a; Rudari *et al.*, 2014; Cherqui *et al.*, 2015). No fundo, substituiu-se um fenómeno natural (cheias rápidas) com maior magnitude e menor frequência, por outro (inundações urbanas) com menor magnitude e maior frequência. Apesar da maior rapidez com que as águas pluviais chegam aos fundos de vale e do aumento do volume do escoamento superficial, fruto da impermeabilização dos terrenos, as inundações urbanas não são tão perigosas quanto as cheias rápidas. Isto deve-se à reduzida carga sólida transportada e à captação de parte do escoamento superficial por parte do sistema de drenagem artificial. Contudo, espera-se que as inundações urbanas venham a ser ainda mais frequentes e que atinjam magnitudes mais elevadas (Falconer *et al.*, 2009; Suriya *et al.*, 2012; Huong e Pathirana, 2013; C. F. Chen e Liu, 2014; Diakakis *et al.*, 2016), tornando este tipo de inundação um problema cada vez maior (Falconer *et al.*, 2009; Diakakis, 2014; Hammond *et al.*, 2015). Por um lado, isto deve-se à canalização subterrânea dos cursos de água que atravessam as cidades, à cada vez maior expansão das superfícies impermeabilizadas e ao sub-dimensionamento das redes de águas pluviais (Smith e Ward, 1998; Jha *et al.*, 2012; Huong e Pathirana, 2013). Por outro, o número de edifícios e a população têm crescido, aumentando a exposição às inundações e causando estragos e custos associados mais elevados (Brázdil *et al.*, 2006; Barnolas e Llasat, 2007; Barredo, 2009; Marchi *et al.*, 2010; Aerts e Botzen, 2011; Jha *et al.*, 2012; Hammond *et al.*, 2015; Diakakis *et al.*, 2016). Há ainda que considerar os possíveis efeitos das alterações climáticas no aumento da frequência e magnitude das precipitações intensas (Brázdil *et al.*, 2006; Marchi *et al.*, 2010; Aerts e Botzen, 2011; de Moel e Aerts, 2011; C. F. Chen e Liu, 2014; Hammond *et al.*, 2015). Note-se que, tanto o aumento das superfícies impermeabilizadas, como os efeitos das alterações climáticas, repercutem-se também nas cheias rápidas.

Visto o enquadramento das inundações urbanas, é importante compreender e discutir o conceito propriamente dito, até porque este tem sido um tema de debate recorrente junto da comunidade científica. Num sentido lato, as inundações urbanas podem ser consideradas todas as

inundações que ocorrem em áreas urbanas, independentemente da sua causa (Hammond *et al.*, 2015). Assim, a ocorrência de inundações pode não resultar apenas da precipitação. A sobrelevação do nível do mar, episódios de *storm surge*, marés vivas ou simples situações de preia-mar podem causar, por si só, inundações ou exacerbar os seus efeitos nos sectores terminais dos cursos de água e/ou nas áreas baixas costeiras (Oliveira e Ramos, 2002; Archetti *et al.*, 2011; W. B. Chen e Liu, 2014). Também as rupturas de condutas na via pública e a obstrução das sarjetas por ramos e folhas de árvores ou outros detritos podem provocar inundações e/ou contribuir para a sua existência (DeSilva *et al.*, 2011; Rudari *et al.*, 2014; Cherqui *et al.*, 2015).

Numa perspectiva mais restrita e mais comum, as inundações urbanas podem ser todas as situações verificadas em áreas urbanas e que tenham sido desencadeadas por eventos de precipitação intensa, originando escoamento superficial e a sobrecarga dos sistemas de drenagem (CNT, 2014; Yu e Coulthard, 2015). Recentemente emergiu o conceito de *surface water flooding* (SWF), que descreve o efeito combinado de diversas inundações/cheias: pluviais (*pluvial flooding*), dos sistemas de drenagem (*sewer flooding*), das ribeiras que ainda escoam a céu aberto, dos cursos de água canalizados subterraneamente e as provocadas pelas nascentes de águas subterrâneas (Falconer *et al.*, 2009). Deste modo, SWF é um termo ainda mais abrangente do que o de inundação urbana, uma vez que as cheias rápidas e as inundações resultantes da subida da toalha freática estão incluídas e também porque estas inundações podem ocorrer fora das cidades (Priest *et al.*, 2011). Assim, os conceitos de SWF e de inundações urbanas não podem ser considerados sinónimos.

Na realidade, continua a não existir consenso acerca deste assunto (Falconer *et al.*, 2009; Priest *et al.*, 2011; Bernet *et al.*, 2017). Existem, por exemplo, alguns estudos em que não se faz qualquer distinção entre as SWF e as inundações pluviais (Pitt, 2008; Yu e Coulthard, 2015). As últimas podem ser definidas como inundações causadas pelo escoamento superficial e consequente acumulação de água antes de chegarem a um curso de água ou de entrarem no sistema de drenagem de águas pluviais (Falconer *et al.*, 2009; Jha *et al.*, 2012; Sperotto *et al.*, 2015). Podem igualmente acontecer quando um determinado volume de água não consegue entrar no sistema de drenagem artificial porque a rede já tinha atingido a sua capacidade máxima de vazão (Falconer *et al.*, 2009; Jha *et al.*, 2012; Sperotto *et al.*, 2015). Este tipo de inundação é, normalmente, o primeiro a acontecer como resultado de uma precipitação intensa num curto espaço de tempo (Priest *et al.*, 2011), não sendo de descartar a sua ocorrência em episódios de precipitação menos intensa (Aronica e Lanza, 2005; Parker *et al.*, 2011; Bhattarai *et al.*, 2016). As inundações pluviais acontecem: 1) em áreas potencialmente favorecedoras de acumulação de escoamento superficial (áreas planas e/ou baixas e depressões naturais); 2) onde existem situações de bloqueio do escoamento (naturais ou induzidas pela acção humana); e 3) ao longo das ruas (Parker *et al.*, 2011; Jha *et al.*, 2012; Rudari *et al.*, 2014).

As inundações provenientes dos sistemas de drenagem são outro dos subtipos de SWF e são provocadas pela sobrecarga hidráulica dos sistemas de drenagem quando a sua capacidade de vazão é excedida em resultado de precipitações intensas (Butler e Davies, 2004; Parker *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2012). Como já foi referido, a expansão das áreas urbanizadas conduz ao aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, mas essa expansão urbana exige também o aumento do número de ligações residenciais ao sistema de águas pluviais e residuais. Existe, por isso, uma maior área e uma maior quantidade de água para ser drenada. Assim, a rede de drenagem artificial pode tornar-se desadequada e ineficaz quando a capacidade para a qual foi projectada é excedida durante um evento de precipitação (Aronica e Lanza, 2005; Hurford *et al.*, 2012; Jha *et al.*, 2012; Chang *et al.*, 2015; Yu e Coulthard, 2015). Nesses casos, é frequente ver as tampas do sistema de águas pluviais saltarem devido à elevada pressão exercida pela água que circula dentro das condutas (figura 3.1a).

Tendo em conta a falta de consenso existente quanto à extensão das SWF e a quantidade de subtipos/categorias que delas fazem parte, não é prudente englobá-las no mesmo grupo, especialmente porque têm condições desencadeantes e consequências distintas (Jha *et al.*, 2012). Os conceitos atrás mencionados (inundações pluviais, provenientes dos sistemas de drenagem, etc.) não serão utilizados nos capítulos 4 e 5 desta dissertação devido às razões seguintes: 1) a informação disponível para cada ocorrência/sinistro não tem detalhe suficiente para determinar se foi causado por uma inundação pluvial ou por outro tipo de SWF; 2) regra geral, não existe distinção entre as inundações causadas pelos sistemas de drenagem artificiais e pelos cursos de água canalizados subterraneamente porque a rede de drenagem de águas pluviais está maioritariamente ligada aos cursos de água canalizados; e 3) apesar da existência de uma malha urbana mais ou menos complexa, o relevo e os antigos leitos de cheia continuam a ser os factores cruciais no actual comportamento do escoamento superficial (Oliveira e Ramos, 2002; Diakakis *et al.*, 2016). Assim, determinar qual dos tipos de inundação referidos foi responsável por uma ocorrência/sinistro é, na maioria dos casos, uma tarefa demasiado propensa a erros, dado que pode ter sido desencadeado por mais do que um tipo de inundação. Considerando todas estas condicionantes e incertezas é comum não se associar as ocorrências/sinistros a nenhum tipo de inundação ou optar-se por uma separação simples entre cheias (fluviais) e inundações urbanas/SWF (exemplo: Bernet *et al.*, 2017).

Deste modo, propõe-se uma classificação baseada nas características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas e na localização das próprias ocorrências/sinistros. Foram considerados quatro tipos de inundação: 1) cheias progressivas; 2) cheias rápidas; 3) inundações relacionadas com a antiga rede de drenagem natural (FREN – acrónimo do inglês ***F**looding **R**ELated to the ancient **N**atural drainage network*); e 4) inundações não relacionadas com a actual ou antiga rede de drenagem natural (FUNN – acrónimo do inglês ***F**looding **U**Nrelated to the present or ancient **N**atural drainage network*).

As FREN ocorrem em fundos de vale onde existem (através de colectores) ou existiam cursos de água, quer estejam canalizados subterraneamente ou enterrados. Podem também ocorrer nos antigos percursos dos cursos de água sendo que, até certo ponto, as FREN correspondem às cheias rápidas que ocorriam nas pequenas ribeiras antes de serem canalizadas subterraneamente. Considerando a já abordada relevância do relevo e do declive nas inundações, mesmo em áreas densamente construídas, observa-se que, quando decorre um evento de precipitação intensa, o escoamento superficial se dirige para as ruas coincidentes com as antigas linhas de água. Nessas situações, as ruas edificadas sobre os cursos de água comportam-se como autênticas ribeiras. As FREN podem gerar um escoamento superficial com elevada velocidade e/ou turbulência em ruas com declive mais acentuado (figura 3.1b); ou de reduzida velocidade e/ou turbulência em áreas com pouco ou nenhum declive, normalmente nos sectores terminais das bacias hidrográficas (figura 3.1c). Em alguns casos podem ocorrer FREN em fundos de vale em que cursos de água estão à superfície, contudo, a inundação não é causada pelo transbordo da linha de água, mas sim pela concentração e acumulação do escoamento superficial proveniente das ruas localizadas nas vertentes. Essas situações sucedem quando não se verifica uma precipitação suficientemente intensa para que ocorra uma cheia rápida, mas que seja suficiente para originar uma inundação urbana ao longo do fundo de vale, embora num nível superior ao do leito normal do curso de água.

Todas as inundações que não estão relacionadas com a rede de drenagem natural são designadas como FUNN, o que significa que os cursos de água não têm influência na sua ocorrência. Este tipo de inundação acontece nos locais em que existe acumulação de água (depressões naturais ou artificiais) ou existem dificuldades de escoamento superficial devido ao fraco declive (áreas planas e/ou baixas) ou a situações de bloqueio (naturais ou induzidas pela acção humana) (figura 3.1d). Tendo em conta que a malha urbana pode ser bastante complexa nas áreas urbanas, que a sua disposição pode conduzir ao bloqueio do escoamento com alguma frequência e que, por vezes, basta a obstrução das sarjetas aquando de um episódio de precipitação intensa para se gerar uma inundação, pode concluir-se que as FUNN podem ocorrer praticamente em qualquer local. Recorde-se, contudo, que estas só podem ser classificadas como FUNN quando ocorrem em locais em que não existe influência das antigas linhas de água. Tipicamente, não são capazes de atingir velocidades de escoamento superficial tão elevadas como as FREN e, por isso, o seu potencial destruidor é também menor.



Figura 3.1 Fotografias referentes a situações causadas por FREN (a, b, c) e por FUNN (d) em Lisboa.

(a) Rua Dom Duarte, junto ao Martim Moniz, 22/09/2014, *frame* de vídeo publicado no YouTube por Sara Vitorino; (b) Rua de São José, 22/09/2014, foto de Sara Matos publicada no *site* do jornal Observador; (c) Largo de São Domingos e rua das Portas de Santo Antão, 29/10/2010, fonte: *site* do jornal Correio da Manhã; (d) Rua de Xabregas, 29/10/2010, fonte: *site* do jornal Correio da Manhã.

3.2. FONTES DE INFORMAÇÃO E BASES DE DADOS

A pesquisa, recolha e organização de eventos e ocorrências ligados a fenómenos naturais e/ou desastres tecnológicos são fundamentais para a realização de trabalhos científicos como os apresentado nos capítulos 4 e 5 desta dissertação. Daqui advém a necessidade da elaboração de bases de dados que sistematizem a informação dispersa por várias fontes ou que até é desconhecida. Dependendo da informação nelas contida e da sua extensão temporal, as bases de dados permitem gerar diversos resultados, que podem contribuir para: 1) a inventariação dos eventos passados e, no caso das cheias, dos respectivos caudais (Gaume e Borga, 2008; Llasat *et al.*, 2010, 2013); 2) a construção de *envelope curves* (O'Connor e Costa, 2003); 3) a compreensão da evolução temporal dos eventos perigosos numa dada região (Llasat *et al.*, 2009; Pereira *et al.*, 2016b) e a redução da incerteza associada à sua frequência (Payraastre *et al.*, 2005); 4) a determinação da distribuição espacial das ocorrências (Pereira *et al.*, 2016b); 5) a quantificação das perdas associadas aos eventos

danosos (Zêzere *et al.*, 2014); 6) a validação de modelos de susceptibilidade/perigosidade; e 7) a introdução de melhorias na gestão do risco (Barredo, 2007; P. P. Santos *et al.*, 2014).

Como admitem Llasat *et al.* (2013), todo o processo de pesquisa, construção e organização de uma base de dados é um caminho difícil e demorado, cujo esforço nem sempre é reconhecido. Os primeiros passos deste processo consistem na definição do(s) critério(s) de selecção dos eventos e do tipo de informação que irão constar na base de dados, de modo a que possa acrescentar novo conhecimento relativamente às já existentes (Llasat *et al.*, 2013). Quando se estudam fenómenos naturais ao longo de um período de tempo é fundamental definir eventos. Segundo Shrubsole *et al.* (1993), para as cheias/inundações existem três métodos para o fazer: 1) através do processo meteorológico que causa as cheias/inundações, em que uma tempestade significa um evento; 2) através da localização das ocorrências numa bacia hidrográfica, em que as cheias/inundações que ocorram nessa bacia hidrográfica pertencem ao mesmo evento; e 3) através da localização das ocorrências numa cidade ou numa área edificada, em que as cheias/inundações que ocorram nessa área fazem parte do mesmo evento. Tendo em conta que tanto o processo desencadeante como a consequência (causa e efeito) são fenómenos naturais, é mais comum ser utilizado o primeiro critério. Todavia, em diversas bases de dados, os eventos são definidos em função da data das ocorrências, embora a concentração das mesmas numa determinada data esteja naturalmente relacionada com o seu factor desencadeante (precipitação).

É sabido que todas as bases de dados têm limitações e problemas (Zêzere *et al.*, 2014). O facto de a maior parte deste trabalho resultar de um processo manual, aliado à manipulação e gestão de uma enorme quantidade de informação, pode conduzir a erros. Por outro lado, os registos são, em muitos casos, provenientes de diversas fontes, podendo existir informações contraditórias relativas ao mesmo acontecimento, o que pode resultar em problemas de falta de uniformidade (Petrucci e Pasqua, 2008; Llasat *et al.*, 2013). Quando se trata de fontes não instrumentais há que ter a noção que a sua utilização comporta uma dose de incerteza intrínseca (Diakakis, 2014; Velásquez *et al.*, 2014).

A maioria das bases de dados referentes a desastres naturais ou tecnológicos é construída em função das suas consequências (danos humanos e/ou materiais), podendo estas ser contabilizadas a diversas escalas. A EM-DAT (*the Emergency Events Database, Centre for Research on the Epidemiology of Disaster*, Universidade Católica de Lovaina) ou as bases de dados da NatCatSERVICE (*Natural Catastrophe Services, Munich Re*), da sigma (*Swiss Re*) ou do Dartmouth Flood Observatory são exemplos de bases de dados com informação sobre eventos danosos à escala global. Estas são adequadas para identificar e quantificar os danos resultantes dos maiores eventos mundiais, mas é necessário algum cuidado na sua aplicação em estudos regionais e locais (Llasat *et al.*, 2013). No caso da EM-DAT, há que ter em conta que esta só considera eventos que cumpram

uma das seguintes condições: 1) 10 ou mais mortes; 2) 100 ou mais pessoas afectadas (no imediato); 3) exista um pedido de ajuda internacional; ou 4) se declare o estado de emergência. Suportados nesta base de dados têm surgido diversos trabalhos aplicados, por exemplo, à Europa, como a contabilização dos danos humanos e materiais provocados por cheias em 27 países entre 1950 e 2005 (Barredo, 2007) ou em 31 países entre 1970 e 2006 (Barredo, 2009). Embora não recorrendo a nenhuma das referidas bases de dados mundiais, Gaume *et al.* (2009) compilaram os danos humanos e materiais causados por 578 eventos de cheias rápidas em sete regiões europeias no período 1946-2007. Llasat *et al.* (2010) contabilizaram os danos humanos e materiais em resultado de 222 eventos de cheias em 20 países da região do Mediterrâneo no período 1990-2006. Também nesta região Petrucci *et al.* (2018) compilaram as mortes ocorridas em 5 áreas de estudo (Sul de França, Catalunha, ilhas Baleares, Calábria e Grécia) entre 1980 e 2015.

Nem todas as bases de dados mundiais ou continentais consideram apenas os eventos mais destruidores. Dois exemplos são a DesInventar, criada pela organização não-governamental *Network of Social Studies in the Prevention of Disasters in Latin America* (LA RED), destinada ao registo dos “pequenos” eventos ocorridos em 45 países da Ásia, África e América (Velásquez *et al.*, 2014), e a ESWD (*European Severe Weather Database*), desenvolvida pela *European Severe Storms Virtual Laboratory* e destinada à compilação de eventos de carácter meteorológico na Europa.

Apesar destes exemplos, o mais comum é a construção ou a utilização de bases de dados que integrem diversos fenómenos naturais a nível nacional ou regional. Alguns exemplos de bases de dados nacionais são a SHELDES (*Spatial Hazard Events and Losses Database for the United States*), a *Storm Events Database* (*National Weather Service – NWS/NOAA*, Estados Unidos), a SICI (*Information System on Hydrological and Geomorphological Catastrophes*, Itália) ou a DISASTER (Desastres naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal). A possibilidade de possuir informação detalhada sobre os eventos e as respectivas consequências que afectaram uma região ou sub-região de um país ao longo do tempo justifica a construção de bases de dados a uma escala maior (Llasat *et al.*, 2013). Alguns exemplos são: a Inungama (Catalunha, Espanha), a ASICaI (acrónimo italiano para Áreas Historicamente Inundadas em Calábria) ou as bases de dados construídas para a Província Canadense de Ontário (Shrubsole *et al.*, 1993), para a Área Metropolitana de Atenas (Diakakis, 2014) ou para quatro municípios (Castelo Branco, Covilhã, Fundão e Guarda) da região Centro de Portugal (P. P. Santos *et al.*, 2014).

A extensão temporal de uma base de dados depende, sobretudo, dos objectivos do estudo e da informação disponível para a área em causa. Como já foi referido, existem várias fontes de dados que permitem identificar e caracterizar os eventos resultantes de fenómenos naturais. No caso das cheias, a possibilidade de quantificação dada pelos registos hidrométricos e/ou meteorológicos é fundamental na determinação da magnitude e frequência destes fenómenos. Através de dados de

caudais e de precipitações, foi elaborado por Marchi *et al.* (2010) um inventário de eventos de cheias rápidas ocorridas em várias regiões da Europa no período 1994-2008, para além do já citado trabalho de Gaume *et al.* (2009). Também parte dos eventos obtidos por Barrera *et al.* (2006) na Catalunha, Espanha, foram identificados através de registos de precipitação. Contudo, devido à falta de dados hidrométricos nas bacias hidrográficas afectadas por cheias rápidas, é mais comum que as bases de dados sejam construídas com recurso a outras fontes.

No que diz respeito à identificação de eventos e à determinação da sua severidade, as fontes documentais são muito úteis, apesar de o tipo e a quantidade de informação que cada uma delas oferece seja bastante distinto (Barnolas e Llasat, 2007). As bases de dados podem, assim, ser construídas utilizando dados provenientes de uma ou mais fontes de informação: jornais, companhias de seguros, autoridades de protecção civil, hospitais, organizações governamentais e não-governamentais, relatórios oficiais, trabalhos científicos, inquéritos pós-evento ou documentos antigos (Barrera *et al.*, 2006; Barnolas e Llasat, 2007; Llasat *et al.*, 2013; P. P. Santos *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2016a). De todas estas opções destacam-se os jornais e as companhias de seguros.

Os jornais são um auxílio fundamental na reconstrução da história dos vários desastres naturais numa região, fornecendo informação valiosa sobre os danos humanos associados. Os jornais garantem, normalmente, uma boa precisão temporal e detalhes que permitem a identificação da maioria dos eventos e das suas causas (Guzzetti e Tonelli, 2004; Barrera *et al.*, 2006; Brázdil *et al.*, 2006; Barnolas e Llasat, 2007; Rashid, 2011; Petrucci, 2013). Os jornais ainda apresentam outras valências: 1) cobrem mais eventos e ocorrências à escala local do que outras fontes de informação; 2) o mesmo evento/ocorrência é reportado com frequência em jornais diferentes, permitindo a comparação dos factos relatados; 3) mantêm, normalmente, os seus arquivos e facultam o acesso aos mesmos; e 4) cobrem um período de tempo mais alargado em comparação com outras fontes *media* (televisão ou internet) (LA RED, 2018). No entanto, a informação proveniente dos jornais também apresenta alguns problemas: 1) a ênfase dos eventos com elevada magnitude que ocorrem nas áreas urbanas ou que causam danos em infra-estruturas conhecidas ou que sejam facilmente reconhecíveis e, em contraponto, a subestimação dos eventos mais recorrentes (Guzzetti e Tonelli, 2004); 2) a localização exacta das ocorrências raramente é identificada (Guzzetti e Tonelli, 2004), contudo, há que reconhecer que, pelo menos no caso português, os jornais mais antigos fornecem muitas vezes informações pormenorizadas a este propósito; 3) em alguns casos, contabilizam apenas de forma qualitativa o número de pessoas afectadas, utilizando termos como “muitos”, “alguns” e “vários” (Quaresma, 2008); 4) o facto de a mesma situação ser relatada em jornais diferentes foi apontado atrás como um ponto positivo, todavia, estes podem fornecer informações inconsistentes e até contraditórias sobre o mesmo acontecimento (Guzzetti e Tonelli, 2004); e 5) a quantidade e a qualidade da informação nem sempre é a mesma ao longo do período

de tempo estudado, quer seja por questões políticas, pela dificuldade de acesso aos locais das ocorrências ou pelo menor número de publicações disponíveis em décadas anteriores (Guzzetti e Tonelli, 2004; Llasat-Botija *et al.*, 2007; Zêzere *et al.*, 2014).

Pesando os prós e os contras, considera-se que os benefícios da utilização dos jornais são bastante superiores às suas desvantagens. Este meio de comunicação social tem sustentado muitos dos estudos realizados, por exemplo, na região do Mediterrâneo (Barriandos *et al.*, 2003; Benito *et al.*, 2003; Guzzetti e Tonelli, 2004; Llasat *et al.*, 2005; Barrera *et al.*, 2006; Barriandos e Rodrigo, 2006; Barnolas e Llasat, 2007; Llasat *et al.*, 2009, 2010). Tal como noutros países desta região, em Portugal os jornais também têm sido muito utilizados para determinar a evolução temporal e a distribuição espacial dos fenómenos naturais, assim como os seus danos humanos. Apesar de já existirem alguns inventários locais e regionais, em 2008 surgiu o primeiro estudo nacional a compilar os eventos hidro-geomorfológicos (cheias/inundações e movimentos de vertente) com consequências danosas para o período 1900-2006 (Quaresma, 2008). A já referida base de dados resultante do projecto DISASTER é, certamente, a mais importante a nível nacional, sendo construída com o objectivo de determinar os fenómenos hidro-geomorfológicos que causaram danos humanos entre 1865 e 2010 (Zêzere *et al.*, 2014). Suportados pela base de dados DISASTER surgiram estudos posteriores para a totalidade do território (Pereira *et al.*, 2016b), para a região Norte (M. Santos *et al.*, 2014, 2015, 2018), para a região Centro (P. P. Santos *et al.*, 2014) e para a Grande Lisboa (Pereira *et al.*, 2016a). O projecto FORLAND (Riscos hidro-geomorfológicos em Portugal: forçadores e aplicações ao ordenamento do território) prolongou o período da base dados DISASTER até 2015 e incidiu a análise nas forças motrizes dos fenómenos hidro-geomorfológicos e nas estratégias de gestão do risco. A base de dados DISASTER suportou ainda o estudo comparativo entre Portugal e Grécia sobre a mortalidade causada por cheias/inundações (Pereira *et al.*, 2017).

Ora, se os jornais são, por norma, o recurso primordial para a obtenção dos danos humanos resultantes de fenómenos perigosos, os dados das companhias de seguros tornaram-se uma ferramenta essencial na determinação dos danos materiais provocados por estes fenómenos. A realização de apólices de seguro por parte dos proprietários de habitações ou de espaços comerciais e industriais tornou-se uma prática comum, sobretudo nos países desenvolvidos. Esta democratização dos seguros tornou as companhias de seguros num agente importante na gestão dos fenómenos naturais, comportando-se como um mecanismo de transferência do risco (Botzen e van den Bergh, 2008; Lamond e Penning-Rowsell, 2014; Atreya *et al.*, 2015; Surminski *et al.*, 2015). Isto é, ao pagar o prémio previsto na apólice de seguro, o tomador/proprietário transfere o risco de ocorrência de um determinado fenómeno que afecte a sua propriedade, e os encargos decorrentes, para a companhia de seguros. Assim, o proprietário salvaguarda um futuro e possível encargo, para que outra entidade possa suportar os custos em caso de ocorrência de um fenómeno perigoso.

Recentemente, as companhias de seguros passaram a olhar para os investigadores como parceiros, mostrando uma maior abertura em ceder os seus dados. Tal facto permitiu dar a conhecer uma realidade que era, até há pouco tempo, desconhecida. A possibilidade de quantificar, ou pelo menos estimar, os danos materiais causados por fenómenos naturais é uma mais-valia para os estudos científicos desta natureza (Spekkers *et al.*, 2013a; Hoeppe, 2016; Bernet *et al.*, 2017). Para além do natural interesse da comunidade científica em aceder a esta informação, a indústria dos seguros parece cada vez mais interessada neste assunto, pois pode recolher benefícios a partir dos resultados obtidos pelos investigadores. Tal como Mills (2005) refere, os negócios e a ciência encontram-se no rescaldo dos desastres. No caso das cheias/inundações, as seguradoras têm denotado preocupação com a redução da diferença entre os prémios (montante que recebem) e as indemnizações (montante que despendem) devido ao aumento crescente dos custos associados a estes fenómenos naturais (Mills, 2005; Botzen *et al.*, 2010; Aerts e Botzen, 2011; Jongman *et al.*, 2014; Paudel *et al.*, 2015).

Apesar das mais-valias que as bases de dados das seguradoras trazem na determinação dos danos materiais causados por cheias e inundações, é necessário ter consciência que perdas totais e seguradas são dois conceitos diferentes (Beven *et al.*, 2018) por diversas razões: 1) como já foi aflorado, os seguros são relevantes, acima de tudo, nos países desenvolvidos (Loster, 1999; Hoeppe, 2016); 2) em alguns países, como a Holanda, as apólices de seguro, normalmente, não cobrem danos causados por cheias/inundações (Thieken *et al.*, 2006; Botzen e van den Bergh, 2008; Botzen *et al.*, 2010; Surminski *et al.*, 2015); 3) nem todos os espaços residenciais, comerciais e industriais têm apólices de seguro (Bernet *et al.*, 2017); 4) as companhias de seguros podem requerer prémios muito elevados devido ao elevado número de cheias/inundações ocorridas no passado, o que faz com que alguns proprietários não tenham apólices de seguro, preferindo assumir o risco; 5) geralmente, as indemnizações pagas pelas companhias de seguros não cobrem todos os danos sofridos (Mills, 2005), porque as apólices de seguro têm limites ou porque alguns tipos de perdas podem não estar incluídas no contrato (CNT, 2014); 6) os montantes pagos dependem da avaliação realizada pelos peritos das companhias de seguros. Para além disso, e apesar da maior abertura revelada, algumas empresas continuam relutantes em ceder as suas bases de dados devido a questões de confidencialidade (André *et al.*, 2013; CNT, 2014; Grahn e Nyberg, 2017; Beven *et al.*, 2018), o que significa que nem sempre é possível ter acesso à totalidade das situações de cheias/inundações que provocaram danos materiais numa dada região.

A juntar à informação disponibilizada pelas maiores companhias de seguros mundiais, como a *Munich Re* ou a *Swiss Re*, nos últimos anos também as empresas de dimensão nacional têm partilhado os seus dados com a comunidade científica, como provam vários estudos publicados na Alemanha (Thieken *et al.*, 2006), Austrália (Crompton e McAneney, 2008), Dinamarca (Spekkers *et*

al., 2013b; Zhou *et al.*, 2013), Espanha (Cortès *et al.*, 2018), França (André *et al.*, 2013; Moncoulon *et al.*, 2014), Holanda (Spekkers *et al.*, 2013a, 2015), Suécia (Grahm e Nyberg, 2017) e Suíça (Bernet *et al.*, 2017). Em Portugal, o primeiro passo foi dado com a criação do projecto CIRAC (Cartas de Inundações e de Risco em Cenários de Alterações Climáticas), que resultou de uma parceria entre a Associação Portuguesa de Seguradores (APS) e a Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FFCUL). No entanto, estudos que quantifiquem os danos materiais resultantes de fenómenos naturais tendo por base os dados das seguradoras eram inexistentes em Portugal até aos produzidos para a AML no âmbito desta dissertação (Leal e Ramos, 2017; Leal *et al.*, 2018, 2019).

SÍNTESE DO CAPÍTULO 3

Os conceitos ligados aos fenómenos naturais e a respectiva abrangência nem sempre são claros, algo que redundará, muitas vezes, em dificuldades na sua aplicação. No que diz respeito às cheias progressivas e cheias rápidas, este problema não ocorre, pois são conceitos já consolidados cientificamente, algo que não ocorre no universo das inundações urbanas. Estas podem ser consideradas todas as inundações que ocorrem em áreas urbanas, porém, esta perspectiva inclui cheias rápidas, inundações costeiras, inundações pluviais, etc.. Esta visão generalista não distingue nem os processos hidrológicos nem os factores desencadeantes, e como tal, não reflecte a capacidade destruidora de cada um dos subtipos de inundações incluídos no conceito de inundação urbana. Há que ter também em conta que as fontes de informação das bases de dados que contêm ocorrências nem sempre tornam possível associar uma determinada ocorrência a um subtipo de inundação e, por isso, é comum recorrer-se simplesmente ao termo inundação urbana.

Pelas questões referidas, propõem-se as designações de FREN e FUNN, numa classificação baseada nas características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas do território. Esta classificação permite determinar quais as ocorrências desencadeadas por FREN e por FUNN, em função da sua localização e da presença/ausência da rede de drenagem. O relevo, os declives e os antigos fundos de vale e linhas de água continuam a ser factores essenciais no comportamento do escoamento superficial nas áreas edificadas e nos danos quando ocorrem precipitações intensas.

Quando se estudam as consequências associadas a fenómenos naturais ou se pretende efectuar avaliações de risco, as bases de dados são fundamentais. Entre outras vantagens, estas permitem compilar a informação existente acerca de um ou vários fenómenos naturais, compreender a sua distribuição espacial e evolução temporal numa determinada região, quantificar os danos causados ou validar os resultados de susceptibilidade/perigosidade. As bases de dados podem ser criadas para diferentes escalas, desde as mundiais, que contêm os eventos de maior magnitude e/ou que causaram as maiores consequências, até às nacionais e às regionais, que permitem uma inventariação mais detalhada de eventos e/ou danos causados.

As bases de dados podem conter extensões temporais diferentes em função do objectivo da sua construção e da disponibilidade da informação de base. No caso das cheias, estas podem ser construídas a partir de dados hidrométricos. Contudo, estes nem sempre estão disponíveis em quantidade e qualidade e, por isso, é frequente recorrer às fontes documentais. Os jornais destacam-se pelo grau de detalhe das informações fornecidas, pela precisão temporal e dimensão do período de tempo abrangido, ou pela cobertura de mais eventos e ocorrências em comparação com outras fontes. Mais recentemente, as companhias de seguros têm mostrado maior abertura para ceder os

seus dados à comunidade científica, servindo de suporte a diversos estudos científicos e possibilitando a quantificação dos danos materiais associados aos fenômenos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - CAPÍTULO 3

- Aerts, J.C.J.H., Botzen, W.J.W., 2011. Climate change impacts on pricing long-term flood insurance: A comprehensive study for the Netherlands. *Glob. Environ. Chang.* 21, 1045–1060. doi:10.1016/j.gloenvcha.2011.04.005
- AMS, 2000. Glossary of Meteorology. Second edition, American Meteorological Society.
- André, C., Monfort, D., Bouzit, M., Vinchon, C., 2013. Contribution of insurance data to cost assessment of coastal flood damage to residential buildings: Insights gained from Johanna (2008) and Xynthia (2010) storm events. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 2003–2012. doi:10.5194/nhess-13-2003-2013
- Archetti, R., Bolognesi, A., Casadio, A., Maglionico, M., 2011. Development of flood probability charts for urban drainage network in coastal areas through a simplified joint assessment approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 3115–3122. doi:10.5194/hess-15-3115-2011
- Aronica, G.T., Lanza, L.G., 2005. Drainage efficiency in urban areas: A case study. *Hydrol. Process.* 19, 1105–1119. doi:10.1002/hyp.5648
- Atreya, A., Ferreira, S., Michel-Kerjan, E., 2015. What drives households to buy flood insurance? New evidence from Georgia. *Ecol. Econ.* 117, 153–161. doi:10.1016/j.ecolecon.2015.06.024
- Barnolas, M., Llasat, M.C., 2007. A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 7, 271–281. doi:10.5194/nhess-7-271-2007
- Barredo, J.I., 2007. Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Nat. Hazards* 42, 125–148. doi:10.1007/s11069-006-9065-2
- Barredo, J.I., 2009. Normalised flood losses in Europe: 1970–2006. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 97–104. doi:10.5194/nhess-9-97-2009
- Barrera, A., Llasat, M.C., Barriendos, M., 2006. Estimation of extreme flash flood evolution in Barcelona County from 1351 to 2005. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 6, 505–518. doi:10.5194/nhess-6-505-2006
- Barriendos, M., Coeur, D., Lang, M., Llasat, M.C., Naulet, R., Lemaitre, F., Barrera, A., 2003. Stationarity analysis of historical flood series in France and Spain (14th–20th centuries). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 3, 583–592. doi:10.5194/nhess-3-583-2003
- Barriendos, M., Rodrigo, F.S., 2006. Study of historical flood events on Spanish rivers using documentary data. *Hydrol. Sci. J.* 51, 765–783. doi:10.1623/hysj.51.5.765
- Benito, G., Díez-Herrero, A., Fernández De Villalta, M., 2003. Magnitude and frequency of flooding in the Tagus basin (Central Spain) over the last millennium. *Clim. Change* 58, 171–192. doi:10.1023/A:1023417102053
- Bernet, D.B., Prasuhn, V., Weingartner, R., 2017. Surface water floods in Switzerland: What insurance claim records tell us about the damage in space and time. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 17, 1659–1682. doi:10.5194/nhess-17-1659-2017
- Beven, K.J., Almeida, S., Aspinall, W.P., Bates, P.D., Blazkova, S., Borgomeo, E., Freer, J., Goda, K., Hall, J.W., Phillips, J.C., Simpson, M., Smith, P.J., 2018. Epistemic uncertainties and natural hazard risk assessment – Part 1 : A review of different natural hazard areas. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 18, 2741–2768. doi:10.5194/nhess-18-2741-2018
- Bhattarai, R., Yoshimura, K., Seto, S., Nakamura, S., Oki, T., 2016. Statistical model for economic damage from pluvial floods in Japan using rainfall data and socioeconomic parameters. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, 1063–1077. doi:10.5194/nhess-16-1063-2016

- Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., Jakob, M., 2014. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *J. Hydrol.* 518, 194–205. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.05.022
- Botzen, W.J.W., van den Bergh, J.C.J.M., 2008. Insurance against climate change and flooding in the Netherlands: Present, future, and comparison with other countries. *Risk Anal.* 28, 413–426. doi:10.1111/j.1539-6924.2008.01035.x
- Botzen, W.J.W., van den Bergh, J.C.J.M., Bouwer, L.M., 2010. Climate change and increased risk for the insurance sector: A global perspective and an assessment for the Netherlands. *Nat. Hazards* 52, 577–598. doi:10.1007/s11069-009-9404-1
- Brázdil, R., Kundzewicz, Z.W., Benito, G., 2006. Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrol. Sci. J.* 51, 739–764. doi:10.1623/hysj.51.5.739
- Brum Ferreira, D., 1985. Les depressions convectives du bassin Atlantique nord subtropical oriental. *Finisterra* 20, 25–45. doi:10.18055/Finis2065
- Butler, D., Davies, J.W., 2004. *Urban Drainage*, 2nd ed. Spon Press, London. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Chang, T.J., Wang, C.H., Chen, A.S., 2015. A novel approach to model dynamic flow interactions between storm sewer system and overland surface for different land covers in urban areas. *J. Hydrol.* 524, 662–679. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.03.014
- Chen, C.F., Liu, C.M., 2014. The definition of urban stormwater tolerance threshold and its conceptual estimation: An example from Taiwan. *Nat. Hazards* 73, 173–190. doi:10.1007/s11069-013-0645-7
- Chen, W.B., Liu, W.C., 2014. Modeling flood inundation induced by river flow and storm surges over a river basin. *Water (Switzerland)* 6, 3182–3199. doi:10.3390/w6103182
- Cherqui, F., Belmeziti, A., Granger, D., Sourdril, A., Le Gauffre, P., 2015. Assessing urban potential flooding risk and identifying effective risk-reduction measures. *Sci. Total Environ.* 514, 418–425. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.02.027
- Chow, V. Te, 1956. Hydrologic Studies of Floods in the United States. *Int. Assoc. Sci. Hydrol.* 42, 134–170.
- CNT, 2014. The Prevalence and Cost of Urban Flooding: A Case Study of Cook County, IL. The Center for Neighborhood Technology.
- Cortès, M., Turco, M., Llasat-Botija, M., Llasat, M.C., 2018. The relationship between precipitation and insurance data for flood damages in a region of the Mediterranean (Northeast Spain). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* 18, 857–868. doi:10.5194/nhess-2017-278
- Crompton, R.P., McAneney, K.J., 2008. Normalised Australian insured losses from meteorological hazards: 1967–2006. *Environ. Sci. Policy* 11, 371–378. doi:10.1016/j.envsci.2008.01.005
- de Moel, H., Aerts, J.C.J.H., 2011. Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. *Nat. Hazards* 58, 407–425. doi:10.1007/s11069-010-9675-6
- DeSilva, D., Marlow, D., Beale, D., Marney, D., 2011. Sewer Blockage Management: Australian Perspective. *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.* 2, 139–145. doi:10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000084
- Diakakis, M., 2014. An inventory of flood events in Athens, Greece, during the last 130 years. Seasonality and spatial distribution. *J. Flood Risk Manag.* 7, 332–343. doi:10.1111/jfr3.12053
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Pallikarakis, A., Skordoulis, M., 2016. Factors controlling the spatial distribution of flash flooding in the complex environment of a metropolitan urban area. The case of Athens 2013 flash flood event. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 18, 171–180.

doi:10.1016/j.ijdr.2016.06.010

- Diakakis, M., Deligiannakis, G., 2017. Flood fatalities in Greece: 1970–2010. *J. Flood Risk Manag.* 10, 115–123. doi:10.1111/jfr3.12166
- Falconer, R.H., Cobby, D., Smyth, P., Astle, G., Dent, J., Golding, B., 2009. Pluvial flooding: New approaches in flood warning, mapping and risk management. *J. Flood Risk Manag.* 2, 198–208. doi:10.1111/j.1753-318X.2009.01034.x
- Gaume, E., Borga, M., 2008. Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations. *J. Flood Risk Manag.* 1, 175–189. doi:10.1111/j.1753-318X.2008.00023.x
- Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D., Stancalie, G., Szolgay, J., Tsanis, I., Velasco, D., Viglione, A., 2009. A compilation of data on European flash floods. *J. Hydrol.* 367, 70–78. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.12.028
- Georgakakos, K.P., 1986. On the Design of National, Real-Time Warning Systems with Capability for Site-Specific, Flash-Flood Forecasts. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* doi:10.1175/1520-0477(1986)067<1233:OTDONR>2.0.CO;2
- Grahn, T., Nyberg, L., 2017. Assessment of pluvial flood exposure and vulnerability of residential areas. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 21, 367–375. doi:10.1016/j.ijdr.2017.01.016
- Guzzetti, F., Tonelli, G., 2004. Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 4, 213–232. doi:10.5194/nhess-4-213-2004
- Hammond, M.J., Chen, A.S., Djordjević, S., Butler, D., Mark, O., 2015. Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review. *Urban Water J.* 12, 14–29. doi:10.1080/1573062X.2013.857421
- Hoeppe, P., 2016. Trends in weather related disasters - Consequences for insurers and society. *Weather Clim. Extrem.* 11, 70–79. doi:10.1016/j.wace.2015.10.002
- Huong, H.T.L., Pathirana, A., 2013. Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 379–394. doi:10.5194/hess-17-379-2013
- Hurford, A.P., Priest, S.J., Parker, D.J., Lumbroso, D.M., 2012. The effectiveness of extreme rainfall alerts in predicting surface water flooding in England and Wales. *Int. J. Climatol.* 32, 1768–1774. doi:10.1002/joc.2391
- IAHS, 1974. Flash-floods: Proceedings of the Paris Symposium. Publication No. 112, International Association for Hydrological Sciences, IAHS-UNESCO-WMO, Wallingford, UK.
- Jansá, A., Genovés, A., Picornell, M.A., Campins, J., Riosalido, R., Carretero, O., 2001. Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 2: Statistical approach. *Meteorol. Appl.* 8, 43–56. doi:10.1017/S1350482701001049
- Jha, A.K., Bloch, R., Lamond, J., 2012. Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. World Bank. doi:10.1596/978-0-8213-8866-2
- Jongman, B., Hochrainer-stigler, S., Feyen, L., Aerts, J.C.J.H., Mechler, R., Botzen, W.J.W., Bouwer, L.M., Pflug, G., Rojas, R., Ward, P.J., 2014. Increasing stress on disaster-risk finance due to large floods. *Nat. Clim. Chang.* 4, 1–5. doi:10.1038/NCLIMATE2124
- Kobiyama, M., Goerl, R.F., 2007. Quantitative method to distinguish flood and flash flood as disasters. *SUISUI Hydrol. Res. Lett.* 1, 11–14. doi:10.3178/suisui.1.11
- LA RED, 2018. The challenge of information sources [WWW Document]. URL

- https://www.desinventar.net/data_sources.html (accessed 3.6.18).
- Lamond, J., Penning-Rowsell, E., 2014. The robustness of flood insurance regimes given changing risk resulting from climate change. *Clim. Risk Manag.* 2, 1–10. doi:10.1016/j.crm.2014.03.001
- Leal, M., 2011. As cheias rápidas em bacias hidrográficas da AML Norte: factores condicionantes e desencadeantes. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- Leal, M., 2013. A importância das condições de humidade do solo na repartição intra-anual dos eventos danosos de cheia: o caso da Área Metropolitana de Lisboa, in: VI Congresso Nacional de Geomorfologia. Coimbra, pp. 37–40.
- Leal, M., Ramos, C., 2017. The potential of two types of urban flooding to cause material damages in Lisbon, Portugal. *Int. J. Saf. Secur. Eng.* 7, 190–200. doi:10.2495/SAFE-V7-N2-190-200
- Leal, M., Ramos, C., Pereira, S., 2018. Different types of flooding lead to different human and material damages: the case of the Lisbon Metropolitan Area. *Nat. Hazards* 91, 735–758. doi:10.1007/s11069-017-3153-3
- Leal, M., Boavida-Portugal, I., Fragoso, M., Ramos, C., 2019. How much does an extreme rainfall event cost? Material damage and relationships between insurance, rainfall, land cover and urban flooding. *Hydrol. Sci. J.* 64, 673–689. doi:10.1080/02626667.2019.1595625
- Llasat, M.C., Barriendos, M., Barrera, A., Rigo, T., 2005. Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *J. Hydrol.* 313, 32–47. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.02.004
- Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Barnolas, M., López, L., Altava-Ortiz, V., 2009. An analysis of the evolution of hydrometeorological extremes in newspapers: the case of Catalonia, 1982–2006. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 1201–1212. doi:10.5194/nhess-9-1201-2009
- Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Prat, M. a., Porcú, F., Price, C., Mugnai, a., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Katsanos, D., Michaelides, S., Yair, Y., Savvidou, K., Nicolaidis, K., 2010. High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database. *Adv. Geosci.* 23, 47–55. doi:10.5194/adgeo-23-47-2010
- Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Petrucci, O., Pasqua, A.A., Rosselló, J., Vinet, F., Boissier, L., 2013. Towards a database on societal impact of Mediterranean floods within the framework of the HYMEX project. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 1337–1350. doi:10.5194/nhess-13-1337-2013
- Llasat, M.C., Marcos, R., Turco, M., Gilabert, J., Llasat-Botija, M., 2016. Trends in flash flood events versus convective precipitation in the Mediterranean region: The case of Catalonia. *J. Hydrol.* 541, 24–37. doi:10.1016/j.jhydrol.2016.05.040
- Llasat-Botija, M., Llasat, M.C., López, L., 2007. Advances in Geosciences Natural Hazards and the press in the western Mediterranean region. *Adv. Geosci.* 12, 81–85. doi:10.5194/adgeo-12-81-2007
- Loster, T., 1999. Flood Trends and Global Change. *Glob. Chang. Catastr. Manag.* 1–7.
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., Gaume, E., 2010. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *J. Hydrol.* 394, 118–133. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.017
- Mills, E., 2005. Insurance in a Climate of Change. *Science* 309, 1040–1044. doi:10.1126/science.1112121
- Moncoulon, D., Labat, D., Ardon, J., Leblois, E., Onfroy, T., Poulard, C., Aji, S., Rémy, A., Quantin, A., 2014. Analysis of the French insurance market exposure to floods: A stochastic model

- combining river overflow and surface runoff. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14, 2469–2485. doi:10.5194/nhess-14-2469-2014
- NRC, 2005. Flash flood forecasting over complex terrain: with an assessment of the Sulphur Mountain NEXRAD in Southern California. Committee to Assess NEXRAD Flash Flood Forecasting Capabilities at Sulphur Mountain, California & National Research Council, Board on Atmospheric Sciences and Climate & NEXRAD Joint System Program Office, National Research Council (U.S.). National Academi, Washington, D.C.
- O'Connor, J.E., Costa, J.E., 2003. Large floods in the United States: where they happen and why. *U.S. Geol. Surv. Circ.* 1245, 13 p.
- Oliveira, P.E., Ramos, C., 2002. Inundações na cidade de Lisboa durante o século XX e seus factores agravantes. *Finisterra* 37, 33–54. doi:http s://doi.org/10.1805 5/Fini s158 9
- Parker, D.J., Priest, S.J., McCarthy, S.S., 2011. Surface water flood warnings requirements and potential in England and Wales. *Appl. Geogr.* 31, 891–900. doi:10.1016/j.apgeog.2011.01.002
- Paudel, Y., Botzen, W.J.W., Aerts, J.C.J.H., 2015. Influence of climate change and socio-economic development on catastrophe insurance: a case study of flood risk scenarios in the Netherlands. *Reg. Environ. Chang.* 15, 1717–1729. doi:10.1007/s10113-014-0736-3
- Payraastre, O., Gaume, E., Andrieu, H., Ferraris, L., 2005. Use of Historical Data to Assess the Occurrence of Floods in Small Watersheds in the French Mediterranean Area. *Adv. Geosci.* 2, 313–320.
- Pereira, S., Zêzere, J.L., Quaresma, I., 2016a. Mortality associated to Hydro-Geomorphologic Disasters in the Great Lisbon area in the last 150 years, in: International Conference on Urban Risks, Lisbon. International Conference on Urban Risks, Lisbon, Lisbon, pp. 393–400.
- Pereira, S., Zêzere, J.L., Quaresma, I., Santos, P.P., Santos, M., 2016b. Mortality patterns of hydro-geomorphologic disasters. *Risk Anal.* 36, 22. doi:10.1111/risa.12516
- Pereira, S., Diakakis, M., Deligiannakis, G., Zêzere, J.L., 2017. Comparing flood mortality in Portugal and Greece (Western and Eastern Mediterranean). *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 22, 147–157. doi:10.1016/j.ijdr.2017.03.007
- Petrucci, O., Pasqua, A.A., 2008. The study of past damaging hydrogeological events for damage susceptibility zonation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 8, 881–892. doi:10.5194/nhess-8-881-2008
- Petrucci, O., 2013. Brief communication the assessment of damage caused by historical landslide events. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 755–761. doi:10.5194/nhess-13-755-2013
- Petrucci, O., Papagiannaki, K., Aceto, L., Boissier, L., Kotroni, V., Grimalt, M., Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Rosselló, J., Pasqua, A.A., Vinet, F., 2018. MEFF: The database of MEditerranean Flood Fatalities (1980 to 2015). *J. Flood Risk Manag.* 1–17. doi:10.1111/jfr3.12461
- Pilgrim, D.H., Cordery, I., 1993. Flood runoff, in: Maidment, D.R. (Ed.), *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, New York, p. 9.1-9.42.
- Pitt, M., 2008. Learning Lessons from the 2007 Floods, *Floods Review*. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Priest, S.J., Parker, D.J., Hurford, A.P., Walker, J., Evans, K., 2011. Assessing options for the development of surface water flood warning in england and wales. *J. Environ. Manage.* 92, 3038–3048. doi:10.1016/j.jenvman.2011.06.041
- Quaresma, I., 2008. Inventariação e Análise de Eventos Hidro-Geomorfológicos com Carácter Danoso em Portugal Continental.
- Ramos, C., Reis, E., 2001. As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas.

- Ramos, C., 2005. Os Recursos Hídricos, in: Medeiros, C.A. (Ed.), *Geografia de Portugal – o Ambiente Físico*. Círculo de Leitores, Lisboa, pp. 386–415.
- Ramos, C., 2009. *Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território. Núcleo de Investigação em Sistemas Litorais e Fluviais: Dinâmicas, Mudanças Ambientais e Ordenamento do Território (SLIF – 6)*, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Rashid, H., 2011. Interpreting flood disasters and flood hazard perceptions from newspaper discourse: Tale of two floods in the Red River valley, Manitoba, Canada. *Appl. Geogr.* 31, 35–45. doi:10.1016/j.apgeog.2010.03.010
- Rudari, R., Gabellani, S., Delogu, F., 2014. A simple model to map areas prone to surface water flooding. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 10, 428–441. doi:10.1016/j.ijdrr.2014.04.006
- Ruiz-Bellet, J.L., Balasch, J.C., Tuset, J., Barriendos, M., Mazon, J., Pino, D., 2015. Historical, hydraulic, hydrological and meteorological reconstruction of 1874 Santa Tecla flash floods in Catalonia (NE Iberian Peninsula). *J. Hydrol.* 524, 279–295. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.02.023
- Santos, M., Bateira, C., Soares, L., Hermenegildo, C., 2014. Hydro-geomorphologic GIS database in Northern Portugal, between 1865 and 2010: Temporal and spatial analysis. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 10, 143–152. doi:10.1016/j.ijdrr.2014.08.003
- Santos, M., Santos, J.A., Fragoso, M., 2015. Historical damaging flood records for 1871–2011 in Northern Portugal and underlying atmospheric forcings. *J. Hydrol.* 530, 591–603. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.10.011
- Santos, M., Fragoso, M., Santos, J.A., 2018. Damaging flood severity assessment in Northern Portugal over more than 150 years (1865–2016). *Nat. Hazards* 1–20. doi:10.1007/s11069-017-3166-y
- Santos, P.P., Tavares, A.O., Zêzere, J.L., 2014. Risk analysis for local management from hydro-geomorphologic disaster databases. *Environ. Sci. Policy* 40, 85–100. doi:10.1016/j.envsci.2013.12.007
- Shrubsole, D., Kreutzwiser, R., Mitchell, B., Dickinson, T., Joy, D., 1993. The history of flood damages in ontario. *Can. Water Resour. J.* 18, 133–143. doi:10.1080/cwrj1802133
- Smith, K., Ward, R., 1998. *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. Wiley, Chichester.
- Spekkers, M.H., Kok, M., Clemens, F.H.L.R., Ten Veldhuis, J.A.E., 2013a. A statistical analysis of insurance damage claims related to rainfall extremes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 913–922. doi:10.5194/hess-17-913-2013
- Spekkers, M.H., Zhou, Q., Arnbjerg-Nielsen, K., Veldhuis, M.-C., 2013b. Correlations between rainfall data and insurance damage data related to sewer flooding for the case of Aarhus, Denmark. *Int. Conf. Flood Resilience, Exp. Asia Eur.* 5–7 Sept. 2013, Exet. UK.
- Sperotto, A., Torresan, S., Gallina, V., Coppola, E., Critto, A., Marcomini, A., 2015. A multi-disciplinary approach to evaluate pluvial floods risk under changing climate: The case study of the municipality of Venice (Italy). *Sci. Total Environ.* 562, 1031–1043. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.03.150
- Sun, S., Fu, G., Djordjević, S., Khu, S.T., 2012. Separating aleatory and epistemic uncertainties: Probabilistic sewer flooding evaluation using probability box. *J. Hydrol.* 420–421, 360–372. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.12.027
- Suriya, S., Mudgal, B. V., Nelliya, P., 2012. Flood damage assessment of an urban area in Chennai, India, part I: Methodology. *Nat. Hazards* 62, 149–167. doi:10.1007/s11069-011-9985-3
- Surminski, S., Aerts, J.C.J.H., Botzen, W.J.W., Hudson, P., Mysiak, J., Pérez-Blanco, C.D., 2015.

- Reflections on the current debate on how to link flood insurance and disaster risk reduction in the European Union. *Nat. Hazards* 79, 1451–1479. doi:10.1007/s11069-015-1832-5
- Thieken, A.H., Petrow, T., Kreibich, H., Merz, B., 2006. Insurability and mitigation of flood losses in private households in Germany. *Risk Anal.* 26, 383–395. doi:10.1111/j.1539-6924.2006.00741.x
- Velásquez, C.A., Cardona, O.D., Carreño, M.L., Barbat, A.H., 2014. Retrospective assessment of risk from natural hazards. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 10, 477–489. doi:10.1016/j.ijdrr.2014.05.005
- Yu, D., Coulthard, T.J., 2015. Evaluating the importance of catchment hydrological parameters for urban surface water flood modelling using a simple hydro-inundation model. *J. Hydrol.* 524, 385–400. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.02.040
- Zêzere, J.L., Pereira, S., Tavares, A.O., Bateira, C., Trigo, R.M., Quaresma, I., Santos, P.P., Santos, M., Verde, J., 2014. DISASTER: A GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Nat. Hazards* 72, 503–532. doi:10.1007/s11069-013-1018-y
- Zhou, Q., Panduro, T.E., Thorsen, B.J., Arnbjerg-Nielsen, K., 2013. Verification of flood damage modelling using insurance data. *Water Sci Technol* 68, 425–432. doi:http://doi.org/10.2166/wst.2013.268

CAPÍTULO 4

DANOS HUMANOS DAS CHEIAS E INUNDAÇÕES (1865-2010) NA AML

Depois da Parte I desta dissertação ter caracterizado tanto os factores condicionantes como os desencadeantes das cheias e inundações na AML, fornecendo o enquadramento necessário para a investigação dos seus efeitos e impactes nesta região, entra-se, a partir de agora, na avaliação das consequências destes fenómenos naturais.

O capítulo 4 analisa os danos humanos causados pelas cheias e inundações na AML no período 1865-2010. Os resultados incluídos neste capítulo foram obtidos com recurso à base de dados DISASTER, construída a partir da informação contida em jornais. Procura-se entender quais os municípios e bacias hidrográficas mais afectados durante o período estudado e como se processou a evolução temporal dos diferentes tipos de inundações na AML. Importa ainda analisar quais os tipos de inundações que causaram mais ocorrências e pessoas afectadas (mortos, evacuados e desalojados). A importância dos três eventos extremos de precipitação que atingiram a AML nas últimas décadas é também discutida e examinada ao longo deste capítulo.

4.1. RECOLHA E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

4.1.1. A precipitação como auxiliar

Ao longo deste capítulo, a precipitação foi utilizada para enquadrar os eventos e ocorrências que causaram danos humanos na AML. Foram recolhidos dados de precipitação diária e diária máxima anual para a estação de referência da AML: SJT.

Os registos de precipitação serviram também para verificar se existe uma relação directa entre os factores desencadeantes e as consequências das cheias/inundações. Estabeleceu-se, assim, uma relação entre as precipitações diárias e o número de afectados resultantes de cada evento DISASTER. Para tal, foram utilizados dados das estações meteorológicas de Alcochete, Cacém, Comporta, Lisboa (Gago Coutinho)⁹, Lisboa (Geofísico), SJT, Sobral da Abelheira e Vila Franca de Xira (Lezíria). A definição da estação cujo valor diário de precipitação foi utilizado na associação ao número de afectados em cada evento dependeu da disponibilidade de dados e da proximidade ao local da(s) ocorrência(s). Para os eventos que registaram ocorrências em diversos municípios, como foram os casos dos eventos extremos de 1967, 1983 e 2008, foram utilizados os dados diários de SJT, por se tratar da estação de referência da AML.

Para verificar se existe alguma tendência temporal nos valores de precipitação diária máxima anual da estação de SJT e determinar se esta é estatisticamente significativa, foi aplicado o método de Monte Carlo. De forma simples, esta técnica de carácter estocástico consiste na geração de uma elevada quantidade de números aleatórios para a realização de uma simulação. Neste contexto, o método de Monte Carlo foi aplicado tal como proposto em Barrera *et al.* (2006) e em Barnolas e Llasat (2007), seguindo os seguintes passos:

- 1) Estabelecer a tendência linear da série de dados original (precipitação diária máxima anual), através de uma regressão linear e determinar o valor do declive da recta;
- 2) Gerar 10 000 permutações aleatórias da série de dados original;
- 3) Calcular as tendências lineares das 10 000 séries geradas e determinar o valor do declive de cada uma das 10 000 rectas;
- 4) Calcular os percentis 2,5 e 97,5 a partir da série dos valores do declive das rectas;
- 5) Se o valor do declive da recta obtido para a série de dados originais for superior ao do percentil 97,5 ou inferior ao do percentil 2,5, então a tendência será significativa a 95%, isto é, será estatisticamente significativa.

⁹ A estação meteorológica de Lisboa (Gago Coutinho) pertence à rede do IPMA e foi utilizada apenas para o evento DISASTER ocorrido em 18-10-2008. A sua utilização deveu-se ao confinamento espacial do evento de precipitação, que afectou quase exclusivamente o município de Lisboa durante um curto período de tempo. A informação sobre o evento foi recolhida no Boletim Climatológico Mensal (Outubro 2008) publicado pelo IPMA: https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20081124/ftPRbznLreeFrPKbJNQW/cli_20081001_20081031_pcl_mm_co_pt.pdf

4.1.2. Base de dados DISASTER e procedimentos metodológicos

Os danos humanos causados por cheias e inundações na AML foram obtidos através da base de dados DISASTER (Zêzere *et al.*, 2014). Nesta base de dados estão contidos os danos humanos, associados a cheias/inundações e movimentos de vertente, referidos nos jornais entre 1865 e 2010 em Portugal continental.

É considerada uma ocorrência de cheia/inundação DISASTER uma situação única desencadeada por precipitação, que causou danos humanos e que pode ser localizada no espaço e no tempo (Zêzere *et al.*, 2014). As ocorrências DISASTER são a representação espacial dos danos humanos. Segundo Zêzere *et al.* (2014), um evento de inundação DISASTER é um conjunto de ocorrências desencadeadas pelo mesmo evento de precipitação. Devido à diferente escala de análise deste estudo em relação ao projecto DISASTER (regional em vez de nacional), considerou-se que um evento DISASTER pode ser composto apenas por uma ocorrência. A identificação e duração dos eventos DISASTER são definidas através da conjugação entre as datas das ocorrências e a informação referida nos jornais relativa à data e hora da precipitação desencadeante. Quando existem notícias de cheias/inundações em dias consecutivos, e a descrição dos jornais permite perceber que se trata de episódios de precipitação distintos, consideram-se dois eventos DISASTER. Quando a informação não tem detalhe suficiente, ou quando o evento de precipitação se estende por mais de um dia (exemplos: noite do dia anterior e madrugada do seguinte ou situações de cheias progressivas), considera-se apenas um evento DISASTER.

Nesta base de dados estão incluídas as características (data, localização e factor desencadeante) e as consequências humanas (mortes, feridos, desaparecidos, evacuados ou desalojados) de cada ocorrência DISASTER. Neste estudo apenas são considerados mortes, evacuados e desalojados, pois os feridos e desaparecidos são reportados por defeito nos jornais.

Na base de dados DISASTER não estão contabilizadas todas as ocorrências associadas a cheias/inundações porque esta contém apenas as situações que provocaram danos humanos suficientemente importantes para serem noticiados nos jornais. Sabe-se que o número de eventos e ocorrências DISASTER, tal como as suas consequências humanas, são inferiores aos números reais. O conservadorismo da base de dados e a estimativa por defeito dos danos humanos deve-se, essencialmente, a alguns factores verificados durante a primeira metade do período da base de dados: 1) as ocorrências existentes na área de estudo até 1934 eram relatadas num único jornal (Diário de Notícias); 2) a cobertura noticiosa de fenómenos naturais fora de Lisboa era uma tarefa por vezes impossível durante o século XIX e o início do século XX; e 3) a instabilidade política ocorrida desde os últimos anos da monarquia até ao golpe militar de 1926, levando a uma menor atenção por parte da imprensa relativamente aos fenómenos naturais.

São também conhecidos os efeitos da censura nas notícias relativas aos danos humanos causados pelas cheias/inundações de 1967 (figura 4.1). No dia 27 de Novembro, um telegrama da Direcção da Censura enviou a seguinte informação às delegações locais: “Gravuras da tragédia: é conveniente ir atenuando a história. Urnas e coisas semelhantes não adianta nada e é chocante. É altura de acabar com isso. É altura de pôr os títulos mais pequenos”. No dia 29: “Inundações: os títulos não podem exceder a largura de 1/2 página e vão à censura. Não falar no mau cheiro dos cadáveres. Actividades beneméritas de estudantes – Cortar”. Três dias depois do evento, um funcionário dos serviços de censura ligou a João Paulo Guerra, jornalista do Rádio Clube Português, para dizer: “A partir desta hora não morre mais ninguém”. Passados 40 anos deste evento, o jornalista Baptista-Bastos recordava ao Diário de Notícias o seu relato sobre o que se passara na aldeia de Quintas, em Vila Franca de Xira: “Escrevi que havia 155 mortos. O censor cortou o ‘1’ e ficaram 55, mas não contente com isso, na edição seguinte, cortou o ‘5’ e ficaram só 5 mortos”.

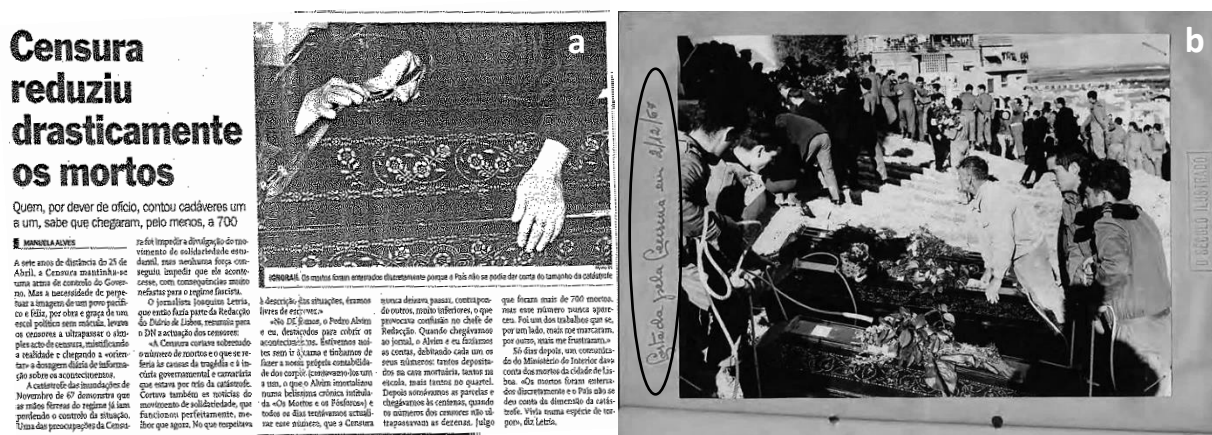


Figura 4.1 Censura nas notícias publicadas aquando da ocorrência do evento de 1967: **a)** ‘Diário de Notícias’ de 25/11/1997; **b)** fotografia de ‘O Século Ilustrado’ de 02/12/1967 que o regime não deixou publicar.

Tal como para precipitação diária máxima anual, foi aplicado o método de Monte Carlo ao número anual de ocorrências DISASTER para testar se a tendência verificada ao longo do período temporal com dados é estatisticamente significativa (Barrera *et al.*, 2006; Barnolas e Llasat, 2007).

4.1.3. Associação entre tipo de inundação e ocorrências DISASTER

As ocorrências DISASTER foram classificadas como resultantes de cheias progressivas, cheias rápidas, FREN ou FUNN. Determinar a localização de cada ocorrência DISASTER e o tipo de inundação que a causou foi um processo moroso e que seguiu alguns passos esquematizados na figura 4.2. Em primeiro lugar, foi efectuada a revisão/actualização da georreferenciação original da base de dados. A correcta determinação do tipo de inundação associada a cada ocorrência exige que a sua localização seja a mais correcta possível. Esta será tanto mais precisa quanto mais detalhada for a

descrição dos jornais. Nas publicações mais antigas são referidas, com alguma frequência, os arruamentos em que se verificaram as ocorrências DISASTER. Contudo, algumas das ruas referidas mudaram de nome ou já não existem na actualidade, o que complica a identificação directa do local da ocorrência DISASTER, implicando um trabalho de pesquisa histórica adicional. Nos casos em que não foi possível identificar o arruamento, recorreu-se a pontos de referência mencionados nos jornais e que ainda existem na actualidade. Isso permitiu, por via indirecta, reconhecer o nome actual da rua e/ou o local aproximado da ocorrência DISASTER.

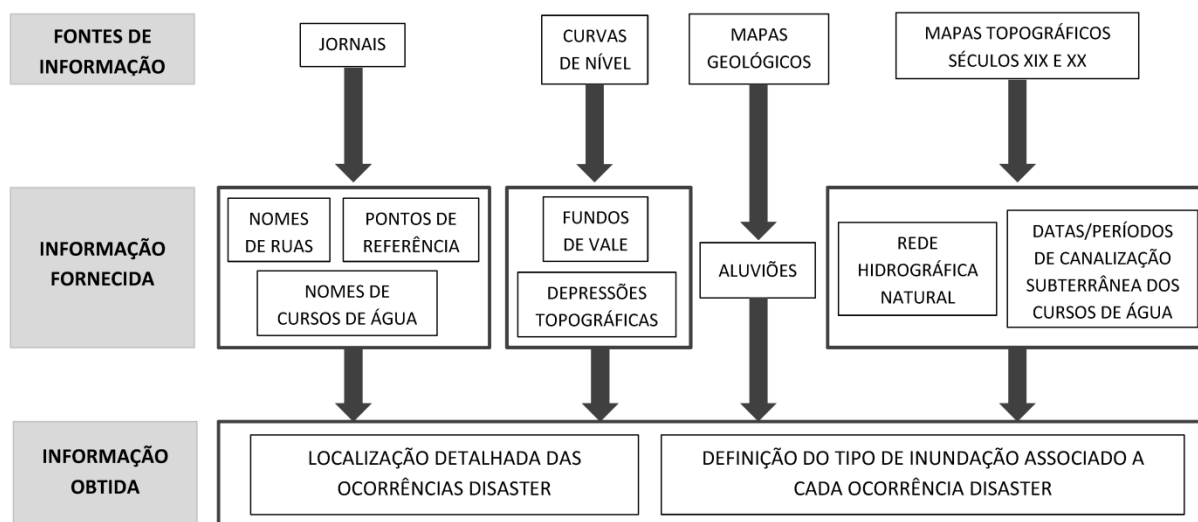


Figura 4.2 Processo metodológico de determinação da localização e tipo de inundação de cada ocorrência DISASTER.

As notícias dos jornais tornaram-se menos detalhadas ao longo do tempo no que concerne à localização das cheias/inundações. No entanto, muitas vezes é referido que, numa localidade, uma dada ocorrência se deveu a um determinado curso de água. Tal facto não possibilita a localização exacta, mas permite saber qual o tipo de inundação que causou essa ocorrência DISASTER. A informação relativa à localização foi sempre complementada com o contexto hidro-geomorfológico e geológico da área (fundos de vale, leitos de cheia, depressões topográficas e aluviões), permitindo a georreferenciação das ocorrências em locais que façam sentido do ponto de vista físico.

As alterações na rede de drenagem ao longo do tempo são outro aspecto a considerar. A progressiva canalização subterrânea dos cursos de água na AML fez com que o mesmo local possa ser afectado, em décadas distintas, por dois tipos de inundações diferentes: cheias rápidas e FREN. Para que fosse possível determinar com segurança o tipo de inundação associado a cada ocorrência DISASTER, houve necessidade de reconstruir a rede hidrográfica natural das áreas afectadas e conhecer as datas (ou períodos) em que os cursos de água foram canalizados subterraneamente. Para isso foram utilizados vários mapas topográficos dos séculos XIX e XX (escalas 1:10 000 e 1:25 000). Quando os jornais não forneciam a localização exacta das ocorrências DISASTER ou não

continham informações que permitissem determinar o tipo de inundação que causou uma ocorrência DISASTER, esta foi classificada como indeterminada (3% do total).

4.2. DANOS HUMANOS (DISASTER)

4.2.1. Resultados globais

De acordo com a base de dados DISASTER, a AML é a NUTS II portuguesa com mais ocorrências DISASTER. No período entre 1865 e 2010, registaram-se 131 eventos de cheias/inundações com danos humanos, causando 396 ocorrências DISASTER (3 por ano), 544 mortes (4 por ano), 3428 evacuados (24 por ano) e 5973 desalojados (41 por ano) (tabela 4.1). No total, foram afectadas 9945 pessoas (68 por ano). Estes números correspondem a 24% do total de ocorrências DISASTER em Portugal continental, 54% das mortes, 26% dos evacuados, 15% dos desalojados e 18% dos afectados (tabela 4.1). Tendo em conta que a AML ocupa pouco mais de 3% do território nacional, percebe-se a grande concentração de danos humanos provocados por cheias/inundações nesta região.

Em média, cada evento DISASTER causou 3 ocorrências DISASTER, 4 mortes e 76 afectados, embora estes valores tenham sido influenciados pelos três eventos extremos de precipitação de 1967, 1983 e 2008. Sem estes três eventos, os números médios por evento desceriam para 2 ocorrências DISASTER, 1 morte e 39 afectados, dado que estes representaram 26% das ocorrências DISASTER, 86% das mortes e 51% dos afectados na AML no período 1865-2010. O evento de 1967 teve as consequências humanas mais gravosas, com 60 ocorrências DISASTER, 449 mortes e um total de 1635 afectados (tabela 4.2 e figura 4.3). O evento de 1983 registou 34 ocorrências DISASTER, 17 mortes e 3299 afectados (tabela 4.2). O evento de 2008 foi o menos importante dos três, neste contexto, apresentando 7 ocorrências DISASTER, 3 mortes e 88 afectados (tabela 4.2).

Tabela 4.1 Número de ocorrências DISASTER e danos humanos na AML e em Portugal continental (1865-2010).

	Ocorrências DISASTER (Nº)	Mortes (Nº)	Evacuados (Nº)	Desalojados (Nº)	Afectados (Nº)
AML	396	544	3428	5973	9945
Portugal	1621	1012	13 372	40 283	54 667
AML (%)	24	54	26	15	18

Tabela 4.2 Danos humanos nos três eventos extremos de precipitação (1967, 1983 e 2008) na AML.

Eventos extremos	Ocorrências DISASTER (Nº)	Mortes (Nº)	Evacuados (Nº)	Desalojados (Nº)	Afectados (Nº)
25-26 Novembro 1967	60	449	304	882	1635
18-19 Novembro 1983	34	17	55	3227	3299
18 Fevereiro 2008	7	3	29	56	88
Total	101	469	388	4165	5022



Figura 4.3 Imagens do evento de 1967: **(a)** capa da 2ª edição do Diário de Lisboa de 26/11/1967; **(b)** rio Jamor, em Queluz (Arquivo Nacional da Torre do Tombo); **(c)** aldeia de Quintas (O Século Ilustrado de 02/12/1967); **(d)** revista Life, fotografia de Terence Spencer; **(e, f)** fotografias de Eduardo Gageiro.

Na associação entre as precipitações diárias desencadeantes e o número de afectados resultantes de cada evento DISASTER, os três eventos extremos destacam-se claramente (figura 4.4a). Numa outra perspectiva, e ao cruzar o número de ocorrências DISASTER e o número de afectados correspondentes, percebe-se que o evento de 2008 não teve a mesma importância dos eventos de 1967 e 1983 (figura 4.4b). Assim, e apenas do ponto de vista dos danos humanos, pode dizer-se que o evento de 2008 não foi diferente de outros que afectaram a AML, uma vez que houve 10 eventos com mais ocorrências DISASTER e 16 eventos com mais afectados durante o período 1865-2010 (figura 4.4b). Isto apesar do evento de 2008 ter sido desencadeado por um episódio de precipitação com características semelhantes às dos eventos de 1967 e 1983 (figura 4.4a e tabela 2.4). As razões desta diferença prendem-se com alguns factores que serão explicados mais à frente.

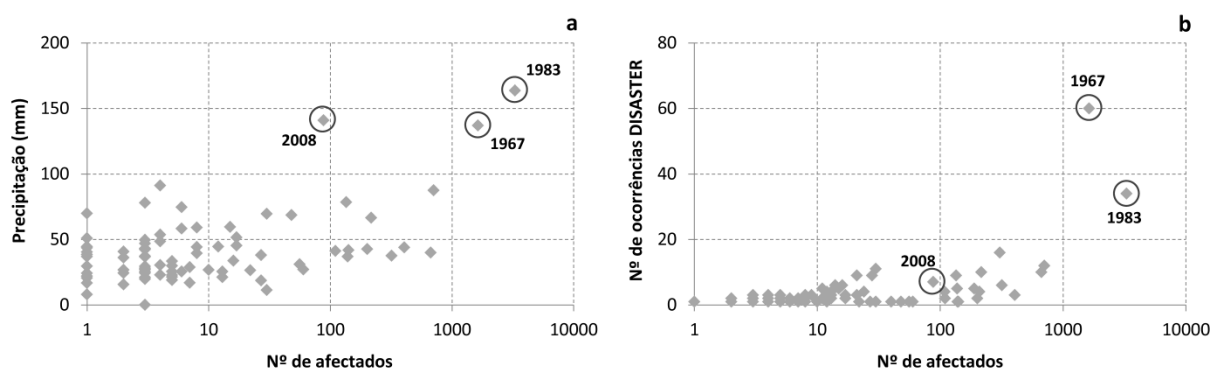


Figura 4.4 Relação do número de afectados com a precipitação diária **(a)** e com o número de ocorrências DISASTER **(b)** em cada evento DISASTER na AML (1865-2010).

4.2.1.1. Evolução temporal e distribuição intra-anual

Vistos os resultados totais para o período 1865-2010, pretende-se compreender a evolução temporal dos eventos DISASTER, ocorrências DISASTER e danos humanos na AML. Durante o período analisado não se verificou uma evolução constante. Através dos valores acumulados, representados na figura 4.5, é possível perceber que o número anual de eventos e de ocorrências DISASTER foi menor até à década de 30, sensivelmente, e que, a partir daí, se verificou um crescimento mais rápido. São diversos os factores que contribuíram para esta evolução, possuindo importâncias distintas e, alguns deles, pesando em alturas diferentes do período estudado. É também visível, através das principais rupturas de declive da figura 4.5, o efeito dos eventos extremos de precipitação, sobretudo os de 1967 e de 1983, nas ocorrências DISASTER.

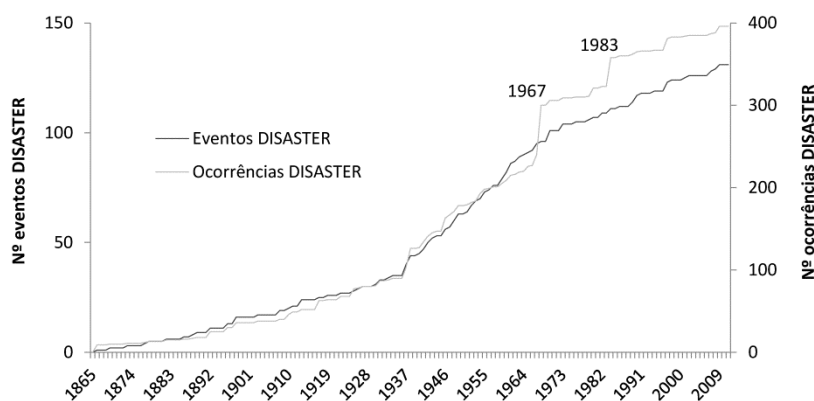


Figura 4.5 Número acumulado de eventos e ocorrências DISASTER na AML (1865-2010).

O primeiro factor que pode interferir na evolução temporal dos eventos e ocorrências DISASTER é a precipitação. Para perceber se existiu alguma tendência nas precipitações intensas na AML, recorreu-se aos registos de precipitação diária máxima anual da estação de SJT e ao número anual de ocorrências DISASTER no período 1938/39 e 2009/10. Constatou-se uma pequena tendência ascendente nos valores de precipitação diária máxima anual e uma pequena tendência de decréscimo no número de ocorrências DISASTER (figura 4.6). A técnica de Monte Carlo demonstra que ambas as tendências não são estatisticamente significativas. Os declives das linhas de tendência da precipitação (0,1386) e das ocorrências DISASTER (-0,0521) situam-se entre os percentis 2,5 (-0,2659 para a precipitação e -0,099 para as ocorrências DISASTER) e 97,5 (0,2689 para a precipitação e 0,0994 para as ocorrências DISASTER) (figura 4.6). Mesmo com a presença de valores muito elevados de precipitação registados durante os três eventos extremos, o número de ocorrências DISASTER diminuiu ao longo do tempo (figura 4.6).

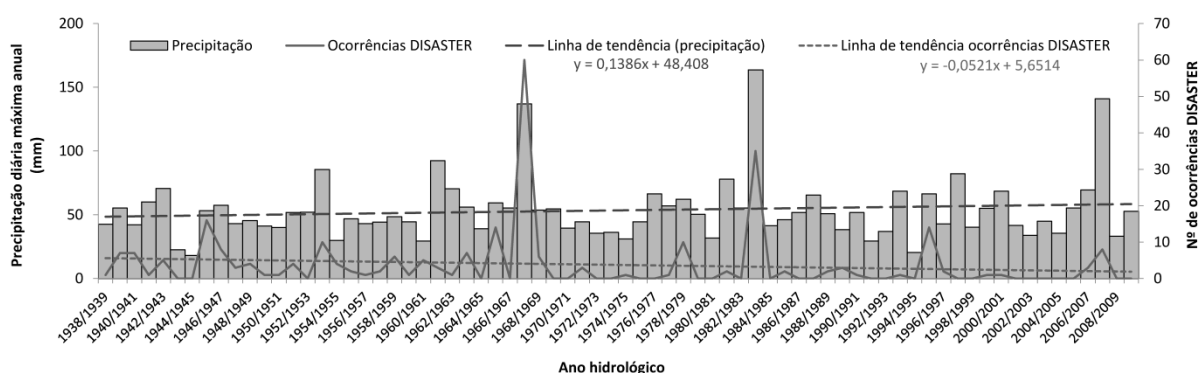


Figura 4.6 Precipitação diária máxima anual na estação de SJT e número de ocorrências DISASTER por ano hidrológico na AML (1938/39-2009/10).

Como a precipitação diária máxima anual fornece apenas um valor para cada ano hidrológico, esta pode não ser suficiente para compreender se existe alguma tendência geral no factor precipitação. Como os registos diários de precipitação da estação de SJT estão disponíveis

apenas a partir do ano hidrológico de 1955/1956, a dimensão da série de dados (56 anos) é inferior à da precipitação diária máxima anual (74 anos), ainda assim, a extensão da série é mais do que suficiente para este tipo de análise. Desta forma, recorreu-se ao número de dias com precipitação igual ou superior aos percentis 90 ($P_{90} = 18,5$ mm/dia) (figura 4.7a) e 95 ($P_{95} = 26,4$ mm/dia) (figura 4.7b). Ao contrário da precipitação diária máxima anual, ambos os percentis sugerem tendências negativas ($-0,0356$ para o percentil 90 e $-0,0016$ para o percentil 95). Todavia, qualquer delas não é muito relevante. No caso do percentil 90, a tendência aponta para que, de 28 em 28 anos, haja menos um dia por ano com precipitação acima de 18,5 mm. No caso do percentil 95, a tendência é insignificante, pois o número de anos necessários para que exista menos um dia por ano com valores a ultrapassar os 26,4 mm diários aumenta para os 600/650 anos. Estes resultados demonstram que não houve uma tendência significativa nas precipitações intensas registadas na estação de SJT durante o período analisado. Como tal, quaisquer variações temporais do número de ocorrências com danos humanos não foram explicadas pela tendência temporal da precipitação. Não obstante estes resultados, a existência de anos com mais ou menos dias de precipitação intensa terá sempre influência na quantidade de cheias/inundações com danos humanos nesses anos.

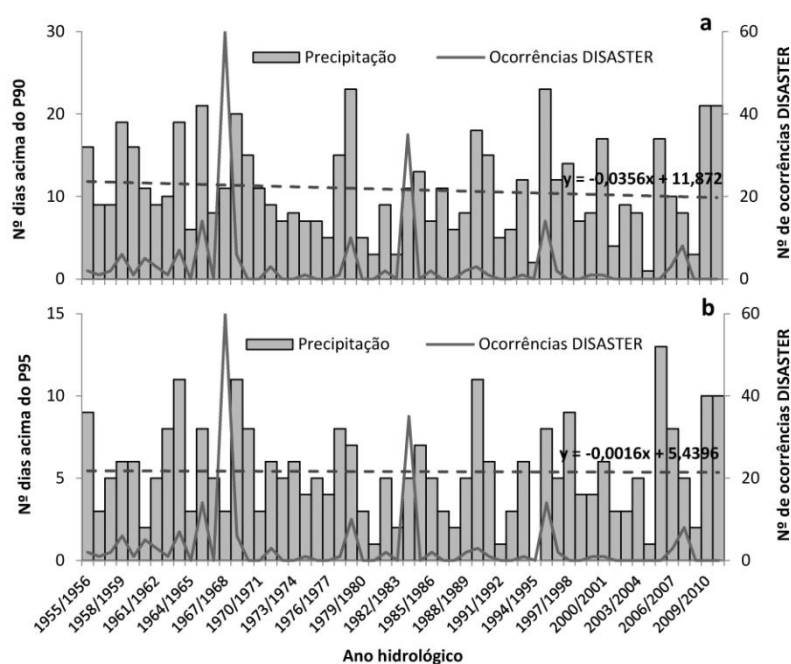


Figura 4.7 Número de dias acima dos percentis 90 (a) e 95 (b) na estação de SJT e número de ocorrências DISASTER por ano hidrológico na AML (1955/1956-2009/10).

Já foi visto que a quantidade de eventos e ocorrências DISASTER não foi uniforme ao longo do tempo, sendo possível identificar três períodos distintos na AML: 1) 1865-1930; 2) 1931-1970; e 3) 1971-2010 (figura 4.8 e tabela 4.3).

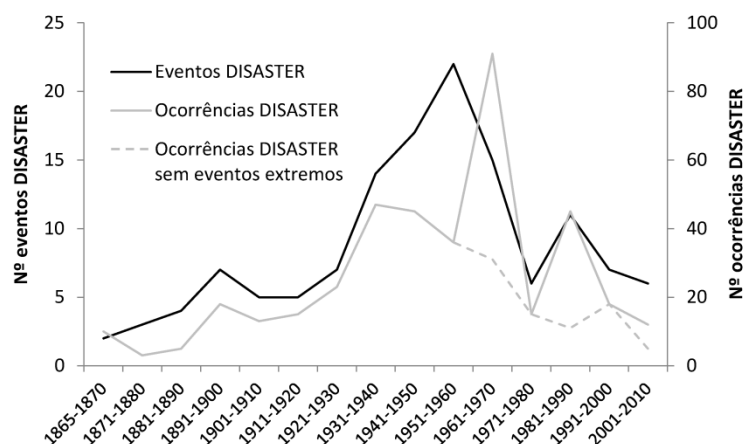


Figura 4.8 Número de eventos DISASTER, ocorrências DISASTER e ocorrências DISASTER sem eventos extremos por década na AML (1865-2010).

Tabela 4.3 Número de eventos DISASTER por ano e número de ocorrências DISASTER, mortes e afectados por ano e por evento na AML.

Período	Nº eventos por ano	Nº ocorrências DISASTER		Nº mortes		Nº afectados	
		Por ano	Por evento	Por ano	Por evento	Por ano	Por evento
1º período (1865-1930)	0,5	1,3	2,6	0,5	0,9	4,0	8,0
2º período (1931-1970)	1,7	5,5	3,2	12,3	6,6	122,1	71,8
3º período (1971-2010)	0,8	2,3	3,0	0,6	0,8	119,9	159,9
1865-2010	0,9	2,7	3,0	3,7	4,2	68,1	75,9

No primeiro período (1865-1930) contabilizaram-se 33 eventos e 87 ocorrências DISASTER. Em termos médios, nestes 66 anos registou-se um evento a cada dois anos e pouco mais de uma ocorrência por ano, responsáveis por uma morte a cada dois anos e quatro afectados por ano (tabela 4.3). Por evento, e em média, contabilizaram-se três ocorrências, uma morte e oito afectados (tabela 4.3). Este período ficou marcado por poucos eventos e ocorrências DISASTER, em comparação com as décadas seguintes. Isto pode ser explicado pelo número limitado de jornais disponíveis (Zêzere *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2016). Durante o primeiro período, todas as ocorrências DISASTER na AML foram identificadas pela consulta do Diário de Notícias. Outra explicação para o reduzido número de eventos e ocorrências DISASTER foi a instabilidade política que caracterizou o final da monarquia e o início da república até ao golpe de estado de 1926. Consequentemente, foi dada menor atenção a outros assuntos como os fenómenos naturais. As notícias incluídas nos jornais podem ser influenciadas por situações como eleições, declarações políticas ou a situação económica vigente (Llasat *et al.*, 2013). Por outro lado, a cobertura noticiosa das situações de cheias e inundações fora do município de Lisboa era uma tarefa complicada nesta época devido às dificuldades de deslocação. Também o número de habitantes da AML era mais baixo do que actualmente, fazendo com o número de pessoas expostas a cheias e/ou inundações fosse menor.

O segundo período (1931-1970) registou um número mais elevado de eventos (68) e de ocorrências DISASTER (219) (figura 4.8). Nestes 40 anos, todos os indicadores aumentaram de forma acentuada em comparação com o período anterior. O número de eventos por ano mais de triplicou, o de ocorrências DISASTER mais de quadruplicou, o de mortes foi cerca de 24 vezes superior e o de afectados foi cerca de 30 vezes superior (tabela 4.3). Os números por evento são igualmente reveladores do aumento significativo dos danos humanos durante este período. O crescimento da população e do número de edifícios (figura 1.22a), resultante do forte êxodo rural, conduziu a um incremento significativo da exposição, o que, por sua vez, também explicou a quantidade de eventos e ocorrências DISASTER. Uma parte importante dessa população alóctone instalou-se em bairros de barracas, localizados ao longo dos fundos de vale, nos arredores de Lisboa. Assim, mais do que apenas a exposição, este facto fez com que a vulnerabilidade aumentasse, exponenciando os danos humanos causados pelas cheias/inundações, sobretudo durante o evento de 1967, em que foram registadas 60 ocorrências DISASTER (15% do total) e 449 mortes (83% do total).

No último período (1971-2010), o número de eventos (30) e de ocorrências DISASTER (90) voltaram a aproximar-se dos patamares registados durante o primeiro período (figura 4.8). Registou-se, por isso, uma quebra acentuada relativamente ao segundo período, excepto no número médio de afectados, que foi semelhante por ano (120) e até mais de duplicou por evento (160) (tabela 4.3). Se, por um lado, houve um incremento do número de afectados, como resultado do crescimento contínuo da população e do edificado, por outro lado, algo mudou em relação às décadas anteriores. Na verdade, o evento de 1967 funcionou como um alerta para a elevada exposição e vulnerabilidade da AML às cheias. A partir daí as condições dos edifícios/habitações melhoraram, os bairros de barracas foram, gradualmente, desaparecendo e os seus habitantes foram realojados em bairros sociais, construídos fora dos leitos de cheia. Também a tipologia de habitação se foi modificando ao longo do tempo, tal como foi mostrado no capítulo 1. De forma a acomodar mais pessoas, os edifícios residenciais foram crescendo em altura, nomeadamente nos municípios da Amadora, Lisboa, Loures, Odivelas, Oeiras ou Sintra. Entre 1960 e 2011, a percentagem de edifícios com um único piso diminuiu de 65% para 36% na AML, enquanto os edifícios com três ou mais andares aumentou de 16% para 31% (tabela 1.11).

A tendência decrescente do número de ocorrências DISASTER durante o terceiro período (1971-2010), foi interrompida pelo evento de 1983 (figura 4.8). Este evento extremo, ocorrido apenas 16 anos depois do anterior, levou à execução de várias intervenções estruturais em alguns pontos críticos das bacias hidrográficas da AML, de modo a minimizar os danos humanos resultantes de futuros eventos de precipitação com elevada magnitude. A importância destas medidas estruturais verificou-se, de resto, durante as décadas seguintes ao conter as cheias com períodos de retorno baixos e médios, mas, especialmente, ao minimizar os danos humanos provocados pelo

evento extremo de 2008. Por outro lado, é importante não esquecer o factor precipitação. No caso da década de 70, constatou-se que houve oito anos hidrológicos cujo número de dias com precipitação acima do percentil 90 ficou abaixo da média (11 dias). Considerando os dados de precipitação diária máxima anual (figura 2.8), o valor médio (53,5 mm) só foi ultrapassado em três anos nessa década: 1976/77, 1977/78 e 1978/79. Isto reflecte-se no número de ocorrências DISASTER (15), sendo esta a década com menos ocorrências entre 1920 e 2000.

A evolução temporal dos eventos e das ocorrências DISASTER foi, de uma forma geral, coincidente entre 1865 e 1940 (figura 4.8). A partir daí, esse sincronismo deixou de existir porque passaram a ser reportados mais eventos nos jornais (a partir da década de 30). Isto deve-se a alguns factores que já foram referidos: mais jornais disponíveis, maior acessibilidade e facilidade de deslocamento para a cobertura jornalística e mais população potencialmente exposta a cheias/inundações. Como se percebe, mais eventos não significam, em proporção, mais ocorrências. Este comportamento só se alterou aquando da ocorrência dos eventos extremos de precipitação (eventos de 1967 e de 1983), capazes de produzir elevadas consequências humanas. Na verdade, se não forem contabilizadas as ocorrências DISASTER dos eventos extremos, foi o primeiro período (1865-1930) que registou mais ocorrências DISASTER por evento (2,6). O segundo e terceiro períodos contabilizaram 2,4 e 1,8 ocorrências DISASTER por evento, respectivamente.

À semelhança do que acontece nos eventos e ocorrências DISASTER, também na evolução temporal das consequências (mortes, evacuados e desalojados) é perceptível uma diferença clara antes e depois de 1930 (figura 4.9). Até aí, em nenhuma das décadas se atingiu a centena de pessoas afectadas, enquanto depois disso, essa barreira foi sempre ultrapassada (figura 4.9). Já tinha sido referido que o peso dos três eventos extremos de precipitação nos afectados (51% do total), e especialmente nas mortes (86% do total), é substancial (tabela 4.2). Confirma-se que as décadas em que os eventos de 1967 e de 1983 aconteceram são as mais relevantes a este nível. A década de 80 foi a que registou o maior número de afectados (3555), enquanto na década de 60 foram contabilizados 2129 afectados, dos quais 450 corresponderam a mortes (apenas uma delas não se deveu ao evento de 1967). As últimas duas décadas do período analisado parecem apontar para um declínio nos danos humanos, sendo que a última década foi mesmo a que registou o menor número de afectados desde os anos 20 (figura 4.9), mesmo com a ocorrência do evento extremo de 2008. A mesma tendência é notória no que concerne ao número de mortes.

Importa referir que, a partir da década de 30 os resultados da base de dados DISASTER são mais confiáveis devido ao maior número de jornais disponíveis. Porém, esta não está isenta de limitações, tal como acontece com outras bases de dados sobre fenómenos naturais elaboradas a partir de fontes documentais (Zêzere *et al.*, 2014). O exemplo mais paradigmático é o evento de 1967, quando a censura imposta pelo Estado Novo impediu a divulgação do verdadeiro número de

mortes resultantes desse evento. Os jornais reportaram 449 mortes, mas esse número está longe das 700 pessoas que se estima que tenham morrido (Ramos e Reis, 2002) durante esse evento.

O menor número de ocorrências DISASTER e de pessoas afectadas nas duas últimas décadas prova que os danos humanos associados a cheias e inundações na AML são, na actualidade, muito baixos. Um evento extremo de precipitação que ocorra na AML já não é capaz de desencadear danos humanos como aqueles que se verificaram em décadas anteriores, como o evento de 2008 provou. De qualquer forma, em caso de mortes associadas a estes fenómenos naturais, é muito provável que, em pleno século XXI, elas ocorram em resultado de um evento extremo de precipitação.

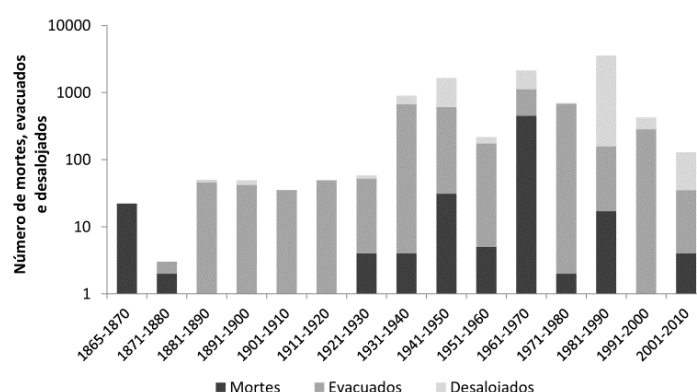


Figura 4.9 Número de mortes, evacuados e desalojados por década na AML (1865-2010).

Os ensinamentos (forçados) das cheias e inundações provocadas por dois eventos extremos ocorridos num período de 16 anos (1967 e 1983) fizeram com que o terceiro (2008) não tivesse tido nem o mesmo número de ocorrências DISASTER, nem a mesma quantidade de pessoas afectadas. Apesar de existir uma maior quantidade de população e de edifícios expostos a cheias/inundações, como resultado dos aumentos verificados ao longo do tempo na AML, os danos humanos diminuíram. Este facto é explicado por diversas razões: 1) a maior informação e consciencialização da população relativamente ao perigo que, sobretudo, as cheias rápidas representam, após o que sucedeu em 1967; 2) a inexistência de bairros de lata localizados nos leitos de cheia dos principais cursos de água, após o evento de 1967; 3) associado ao ponto anterior, a redução da vulnerabilidade dos edifícios (diferente tipologia e melhoria da qualidade dos materiais de construção) que estão construídos nos fundos de vale; 4) a redução da susceptibilidade e perigosidade, devido às intervenções hidráulicas realizadas em pontos críticos das linhas de águas, depois do evento de 1983; 5) a alterações à legislação, que passou a incluir restrições de construção em determinadas áreas susceptíveis, embora nem sempre sejam cumpridas; e 6) a existência de sistemas de prevenção e alerta às populações, algo que não acontecia em décadas anteriores.

Se a esta conjuntura se acrescentar que, em 28 anos (de 1983 a 2010), foram registadas quatro mortes em consequência de cheias/inundações na AML e que todas elas ocorreram dentro de

automóveis, percebe-se que a realidade actual é muito distinta da que existia em meados do século XX (figura 4.3). As “poucas” mortes verificadas, já não ocorrem porque as habitações são atingidas pela cheia/inundação, mas sim devido a comportamentos de risco que as pessoas assumem quando entram dentro de água de forma voluntária (Jonkman e Kelman, 2005; Becker *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2017). Por norma, a razão para colocarem as suas vidas em perigo está relacionada com tentativas de salvar bens pessoais, nomeadamente veículos. Tudo isto não significa que as cheias e inundações já não sejam importantes, mas sim que a AML já não é tão vulnerável como o foi outrora. Esta região enquadra-se agora no padrão dos países desenvolvidos no que diz respeito às consequências humanas geradas por estes fenómenos naturais.

Para além da evolução temporal durante o período 1865-2010, importa também analisar a distribuição intra-anual dos eventos e ocorrências DISASTER, assim como das mortes e afectados (figura 4.10). Devido à sua excepcionalidade e ao consequente elevado número de ocorrências DISASTER causadas, os eventos extremos de Novembro de 1967, Novembro de 1983 e Fevereiro de 2008 não foram aqui incluídos. Os meses com mais eventos DISASTER foram os de Janeiro (26), Novembro (23) e Fevereiro¹⁰ (22), aos quais se seguiram Outubro e Dezembro (ambos com 17). A distribuição intra-anual das ocorrências DISASTER mostra uma dominância dos meses de Janeiro e Novembro (ambos com 72), atingindo quase metade do total de ocorrências. Relembre-se que houve mais 94 ocorrências DISASTER registadas em Novembro, resultantes dos eventos extremos de 1967 e 1983, que não estão consideradas na figura 4.10a. Na verdade, Novembro contabilizou 42% das ocorrências DISASTER no período 1865-2010. Note-se ainda que o total de ocorrências nos dias dos dois eventos extremos foi superior ao de todos os Novembros durante 146 anos.

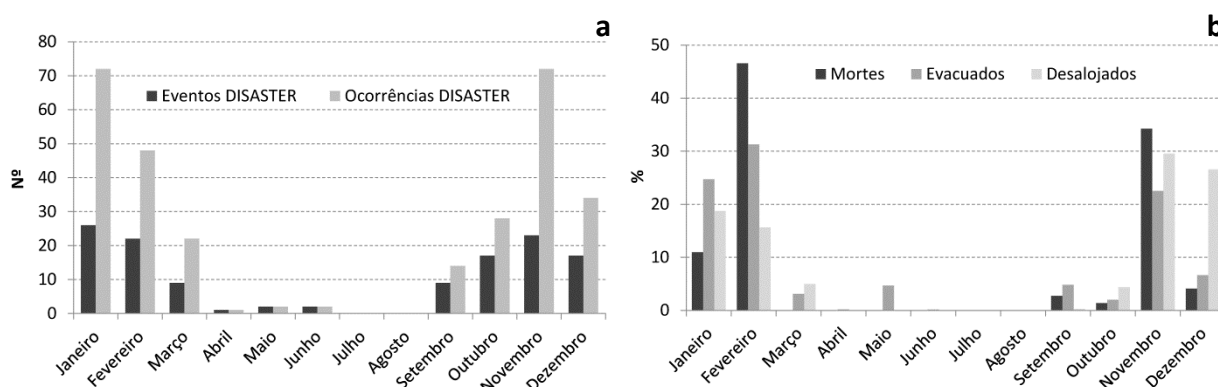


Figura 4.10 Distribuição intra-anual dos eventos e ocorrências DISASTER (a) e dos danos humanos (b) na AML (1865-2010).

Nota: os eventos extremos de 1967, 1983 e 2008 não estão representados na figura.

¹⁰ Note-se que Fevereiro é composto apenas por 28 ou 29 dias. O menor número de dias em comparação com os restantes meses teve certamente influência no total de eventos/ocorrências DISASTER num período de quase 150 anos.

De 1955/56 a 2010/11, 45% dos registos diários de precipitação acima do percentil 90 na estação de SJT ocorreram no Outono. Sendo esta a estação do ano mais propícia ao surgimento de precipitações intensas em curtos períodos de tempo, percebe-se a relevância do mês de Novembro neste contexto. Também a discordância entre o número de dias com quantitativos elevados de precipitação e o menor número de ocorrências DISASTER em Outubro (figura 4.10a) é compreensível, pois as primeiras chuvas a seguir à estiagem vão alimentar os solos e não se traduzem, por norma, em escoamento fluvial (Ramos e Reis, 2001). Esta explicação é válida quando existe um sistema minimamente natural, em que a infiltração desempenha um papel relevante no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica. Nas situações de inundações urbanas, em que são raros os espaços não impermeabilizados, a explicação não se aplica. Um aspecto curioso é o menor número de eventos e ocorrências DISASTER no mês de Dezembro, em comparação com Novembro, Janeiro e Fevereiro.

No que concerne aos meses de Inverno, sobretudo Janeiro e Fevereiro, pode não haver necessidade precipitações de magnitude tão elevada para desencadear cheias rápidas, dado que os solos já estão frequentemente saturados nessa época do ano (Leal, 2013). Mais uma vez a questão do funcionamento hidrológico não se aplica na maioria das inundações urbanas. Por outro lado, há que ter em conta a importância das cheias progressivas que ocorrem, principalmente, durante o Inverno. Nos restantes meses, Março e Setembro podem ser considerados meses de transição, ou seja, o primeiro marca a passagem para os meses com poucos (Abril, Maio e Junho) ou nenhuns (Julho e Agosto) eventos/ocorrências DISASTER, enquanto o segundo dá início à estação chuvosa.

A distribuição intra-anual das ocorrências DISASTER na AML revela uma realidade algo distinta da globalidade do território português, em que há uma repartição quase equitativa entre Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro (Zêzere *et al.*, 2014). No caso da região Norte, verifica-se mesmo uma grande relevância do mês de Dezembro na quantidade de ocorrências com danos humanos devido às cheias progressivas nos rios Douro, Minho, Lima ou Cávado (Pereira *et al.*, 2016). Tal demonstra a inexistência de um padrão único em Portugal continental no que concerne à distribuição intra-anual das cheias/inundações com danos humanos, sendo algo que varia em função das características físicas e do enquadramento geográfico de cada região.

A distribuição intra-anual dos danos humanos (mortes, evacuados e desalojados) está representada na figura 4.10b. A sua repartição denota uma concentração nos meses de Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro, que representam entre 85% (evacuados) e 96% (mortes) do total. Verifica-se que a distribuição dos danos humanos foi mais concentrada nestes meses comparativamente com a dos eventos/ocorrências DISASTER (figura 4.10a). Como seria expectável, os eventos DISASTER ocorridos nos meses referidos tiveram maior capacidade para gerar danos humanos do que os que aconteceram nos restantes meses. Note-se que os três eventos extremos de

precipitação (ocorridos em Novembro e Fevereiro) não foram aqui considerados. Tal iria acentuar ainda mais a importância dos meses em que esses eventos sucederam.

Não obstante a ausência na figura 4.10b dos danos humanos causados pelos três eventos extremos (ocorridos em Fevereiro e Novembro), o maior número de mortes ocorreu, precisamente, em Fevereiro (34) e em Novembro (25). De qualquer forma, é importante referir que 27 das 34 mortes em Fevereiro foram motivadas pelo evento ocorrido a 15 de Fevereiro de 1941, com diversas ocorrências DISASTER a deverem-se a cheias no rio Tejo. Diga-se ainda que este evento provocou numerosas ocorrências em todo o País devido à passagem de um ciclone. Os evacuados assumiram especial relevância nos meses de Janeiro e Fevereiro (figura 4.10b), o que está directamente relacionado com os tipos de inundações. Neste caso, as cheias progressivas do rio Tejo ocorrem, tipicamente, durante os primeiros meses dos anos civis e as características deste tipo de inundações permitem que se proceda ao auxílio às populações em tempo útil. No entanto, nem sempre foi assim durante todo o período 1865-2010, dado que existem várias mortes associadas a cheias progressivas, como será mostrado mais à frente. A quantidade de pessoas evacuadas em Novembro também foi significativa (figura 4.10b), sendo repartida por mais ocorrências DISASTER do que sucedeu em Fevereiro. Em média, foram evacuadas 10 pessoas por ocorrência em Novembro, enquanto em Fevereiro esse número duplicou. Quanto aos desalojados, foram mais repartidos pelos quatro meses referidos, embora Novembro e Dezembro tenham assumido maior destaque (figura 4.10b). Todavia, 400 dos 505 desalojados em Dezembro resultaram de uma ocorrência DISASTER, em 1945, em que mais de 100 habitações ficaram inundadas. Tendo em conta o número de eventos e ocorrências DISASTER registados em Janeiro, e em comparação com Fevereiro e Novembro, o número de mortes nesse mês foi inferior à que seria expectável (figura 4.10b).

4.2.1.2. Distribuição espacial

A distribuição espacial das ocorrências esteve longe de ser territorialmente uniforme (figura 4.11). A maioria ocorreu na AML Norte (371; 94%), assim como os danos humanos (mortes, evacuados e desalojados), em que se atingiram valores relativos da mesma ordem de grandeza. Isto prova que, durante a globalidade do período analisado, a AML Norte teve um peso muito superior ao da AML Sul no que diz respeito às cheias/inundações com danos humanos. Esta disparidade deveu-se, em parte, às características hidro-geomofológicas, litológicas e de ocupação do solo, que fazem das bacias que drenam a AML Norte mais susceptíveis às cheias/inundações.

Esta distribuição espacial também se explica pela maior exposição e/ou vulnerabilidade das populações e edifícios a estes fenómenos naturais. Relembre-se o que foi dito no capítulo 1. Entre 1864 e 2011, a importância relativa da população na AML Norte no total da AML variou entre 83%

(em 1890) e 72% (em 2011). O número crescente de edifícios, a falta de qualidade (estrutural e de materiais) de muitas das construções e a sua localização inapropriada também contribuíram para a elevada exposição e vulnerabilidade da AML Norte. Aliás, em muitos casos, as habitações com condições mais deficientes estavam localizadas em leitos de cheia, facto que exponenciou as consequências resultantes do evento de Novembro de 1967. Os problemas de (des)ordenamento do território começaram a sentir-se mais cedo na AML Norte, o que resultou na multiplicação de pontos/sectores críticos, onde as cheias/inundações se tornaram frequentes.

Há ainda outro factor que ajuda a explicar a disparidade no número de ocorrências DISASTER entre a AML Norte e a AML Sul (figura 4.11). As já abordadas dificuldades de deslocação existentes durante o século XIX e as primeiras décadas do século XX, associadas à falta de infra-estruturas rodoviárias, faziam com que a cobertura noticiosa das cheias/inundações fora de Lisboa fosse, em alguns casos, inviável. Neste âmbito recorde-se que a actual ponte 25 de Abril foi construída apenas em 1966, ou seja, a travessia do rio Tejo era, até então, feita pela ponte Marechal Carmona (construída em 1951), em Vila Franca de Xira, ou de barco. Assim, o número de ocorrências registadas na AML Sul durante as primeiras décadas da base de dados DISASTER estará, certamente, condicionado pela dificuldade em atravessar o Tejo a partir de Lisboa.

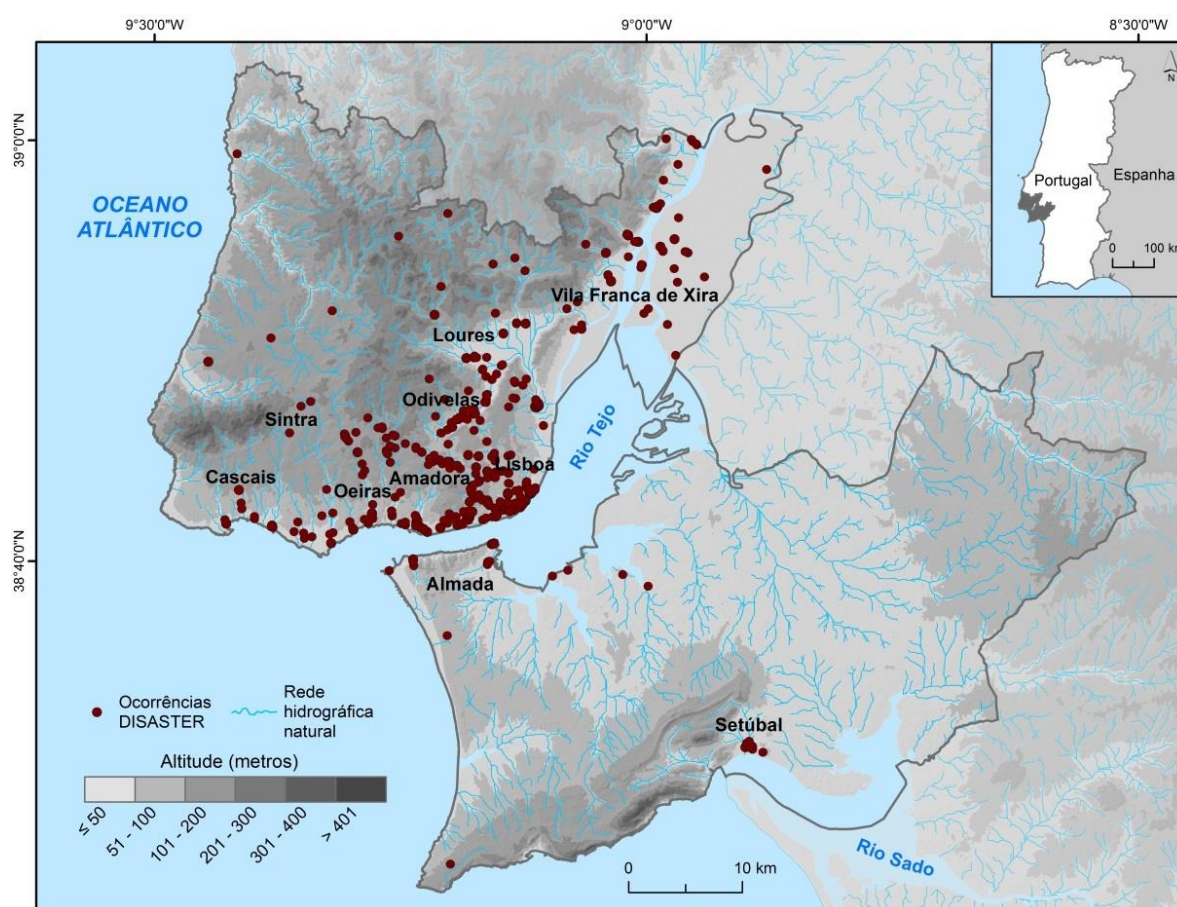


Figura 4.11 Distribuição espacial das ocorrências DISASTER na AML (1865-2010).

Para além do contraste norte/sul, verificou-se uma dependência face aos principais cursos de água, formando-se alinhamentos de ocorrências DISASTER ao longo dos fundos de vale (figura 4.11). Isto significa que a localização das ocorrências causadas pelas cheias/inundações na AML dependeu, numa primeira instância, das condições naturais/físicas do território. Contudo, há que não esquecer que as ocorrências DISASTER correspondem sempre a situações que provocaram danos humanos. Logo, se não existissem pessoas nesses locais, não existiriam consequências humanas. Como tal, há que ter em conta a influência antrópica na distribuição das ocorrências DISASTER, não só na localização correcta ou incorrecta das populações, mas também nas alterações induzidas, directa ou indirectamente, no escoamento dos cursos de água. O efeito negativo reflecte-se na ocupação indevida dos leitos de cheia, na diminuição da infiltração, no aumento do volume e velocidade do escoamento superficial ou mesmo na introdução de estrangulamentos nos leitos das ribeiras. Por outro lado, e de modo corrigir erros de ordenamento do território, é possível implementar soluções estruturais, como o aprofundamento dos canais fluviais ou a construção de degraus de amortecimento e bacias de retenção do escoamento. Também a canalização subterrânea dos cursos de água provoca importantes alterações no comportamento hidrológico de determinadas áreas. Se isso desvirtua as condições naturais de um local, pode também conduzir a alterações nos fenómenos hidrológicos extremos, uma vez que as cheias rápidas passam a ser substituídas por inundações urbanas, tornando-se, provavelmente, mais frequentes, mas menos destrutivas.

Para além da expectável dependência em relação aos cursos de água evidenciada pelas ocorrências DISASTER e da dissimetria norte/sul, existiram contrastes evidentes à escala municipal durante o período 1865-2010 (figura 4.12). Saliente-se que a análise realizada por concelho tem em conta os seus limites actuais. Daqui resulta que as ocorrências DISASTER localizadas dentro dos limites dos actuais municípios da Amadora e de Odivelas, constituídos em 1979 e em 1998, respectivamente, foram incluídas na contabilidade dos mesmos.

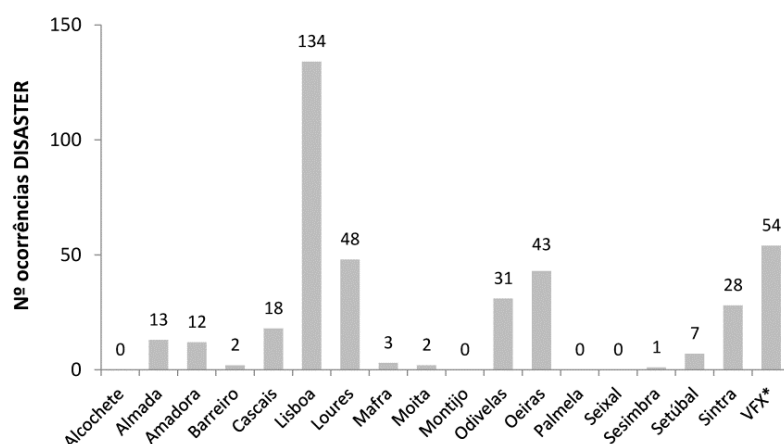


Figura 4.12 Número de ocorrências DISASTER em cada município da AML (1865-2010).

* VFX - Vila Franca de Xira.

Lisboa foi o município que registou mais ocorrências DISASTER na AML (134; 34% da AML), sendo, simultaneamente, o que teve mais ocorrências a nível nacional. Seguiram-se os concelhos de Vila Franca de Xira (54; 14% da AML), Loures (48; 12%) e Oeiras (43; 11%). Ao ponderar o número de ocorrências DISASTER pela área do município, Lisboa continuou a apresentar o número mais elevado (1,6 ocorrências/km²). Os seus quatro concelhos contíguos foram os seguintes na hierarquia: Odivelas com 1,2 ocorrências/km²; Oeiras com 0,9 ocorrências/km²; Amadora com 0,5 ocorrências/km²; e Loures com 0,3 ocorrências/km².

Na AML Sul verificaram-se apenas 25 ocorrências DISASTER, destacando-se os municípios de Almada (13 ocorrências) e de Setúbal (7 ocorrências) (figura 4.12). Refira-se que a distribuição espacial nestes dois concelhos é distinta. Enquanto em Almada as ocorrências DISASTER se repartiram por 4 ou 5 locais/sectores, em Setúbal concentraram-se, quase exclusivamente, na baixa da cidade (figura 4.11). Registaram-se ainda ocorrências DISASTER nos concelhos do Barreiro (2), Moita (2) e Sesimbra (1). Alcochete, Montijo, Palmela e Seixal são os únicos municípios da AML sem quaisquer ocorrências com danos humanos no período 1865-2010. Mais uma vez se nota o peso da AML Norte no número de ocorrências DISASTER quando os municípios são hierarquizados. Almada foi o primeiro concelho da AML Sul, mas foi apenas o sétimo na globalidade da AML, antecedido de Lisboa, Vila Franca de Xira, Loures, Oeiras, Odivelas, Sintra e Cascais.

A repartição espacial das ocorrências DISASTER ao longo do tempo modificou-se, muito em função da distribuição da população no território da AML. Considerando os três períodos apresentados no ponto 4.2.1.1 (1865-1930; 1931-1970; 1971-2010), é possível observar três padrões distintos (figura 4.13).

No primeiro período (1865-1930) foram registadas 87 ocorrências DISASTER. Neste período existiu uma grande concentração em Lisboa (54; 62% do total da AML), sendo Vila Franca de Xira o segundo município mais representativo, com 10 ocorrências DISASTER (12%) (figura 4.13a). Loures ou Oeiras, municípios com um historial relevante de cheias/inundações com danos humanos, contabilizaram apenas 7% das ocorrências DISASTER. Em Odivelas não existiram ocorrências DISASTER no período 1865-1930. A predominância de Lisboa neste contexto esteve relacionada com o número de residentes neste município (64% do total da AML em 1930), para além de o Diário de Notícias (sediado em Lisboa) ser a única fonte de informação disponível durante este período.

No segundo período (1931-1970) foram contabilizadas 219 ocorrências DISASTER. Lisboa continuou a ser o concelho mais representativo (65) mas o seu peso na AML diminuiu de forma considerável (de 62% para 30%). Para além do número de ocorrências DISASTER ter aumentado neste período, também se observou uma expansão das áreas afectadas (figura 4.13b). Do primeiro para o segundo período, o número de municípios com ocorrências DISASTER aumentou de 8 para 12. O aparecimento de Odivelas (23 ocorrências DISASTER) e da Amadora (8 ocorrências DISASTER) nesta

contabilidade, assim como o aumento do número de ocorrências DISASTER em concelhos como Vila Franca de Xira (34), Oeiras (32), Sintra (22), Loures (15), Cascais (9) ou Almada (7), é revelador da alteração no padrão de distribuição das cheias/inundações com danos humanos. Este padrão reflectiu o crescimento das áreas edificadas na AML, em alguns casos de génese ilegal, nos concelhos próximos de Lisboa, coincidente com a chegada de muitas pessoas vindas do interior. A repartição das ocorrências DISASTER durante o segundo período é, em grande parte, coincidente com os eixos de expansão urbana a partir de Lisboa, ao longo das linhas ferroviárias de Cascais, de Sintra e de Vila Franca de Xira, assim como da estrada nacional 8/A8 (Odivelas e Loures). Relembre-se também que, para a quantidade e localização das ocorrências DISASTER neste período, muito contribuiu o evento extremo de 1967 (60 ocorrências DISASTER).

O terceiro período (1971-2010) totalizou 90 ocorrências DISASTER. Tal como no período antecedente, registaram-se ocorrências DISASTER em 12 municípios (figura 4.13c). Lisboa deixou de ser o município com maior número de ocorrências DISASTER (15), numa fase em que as ribeiras já estavam canalizadas subterraneamente, sendo ultrapassado por Loures (27). Este concelho, juntamente com Odivelas (8), passou a ser, provavelmente, a área mais problemática da AML no que às cheias/inundações com danos humanos diz respeito, acumulando diversos pontos/sectores críticos como Sacavém, Frielas ou a ribeira da Póvoa. Vila Franca de Xira manteve um número relativamente elevado de ocorrências DISASTER (10), ao contrário de Cascais (6), Oeiras (5) e Sintra (4) que reduziram o número de ocorrências, mesmo com a existência de dois eventos extremos de precipitação (1983 e 2008). Note-se ainda que Maфра teve as suas únicas ocorrências DISASTER (3) durante este período, desta vez em áreas mais rurais, cujas cheias/inundações não causavam, habitualmente, danos humanos. Por último, Setúbal registou algumas ocorrências DISASTER (5), sobretudo na baixa da cidade, situação que não se verificou nas três décadas anteriores.

Ao analisar a repartição dos afectados por concelho, percebe-se uma realidade distinta (figura 4.14a). Neste campo, Vila Franca de Xira (2494; 25%) e Loures (2247; 22%) atingiram quase metade dos afectados da AML. De seguida surgiram Odivelas (1512; 15%) e Lisboa (1163; 12%). A ponderação pela área do concelho indica que foram Odivelas (57 afectados/km²) e Amadora (25 afectados/km²) a apresentar os números mais elevados neste aspecto. A sua reduzida dimensão e as elevadas densidades populacionais e de edifícios explicam a quantidade de pessoas afectadas por cheias/inundações.

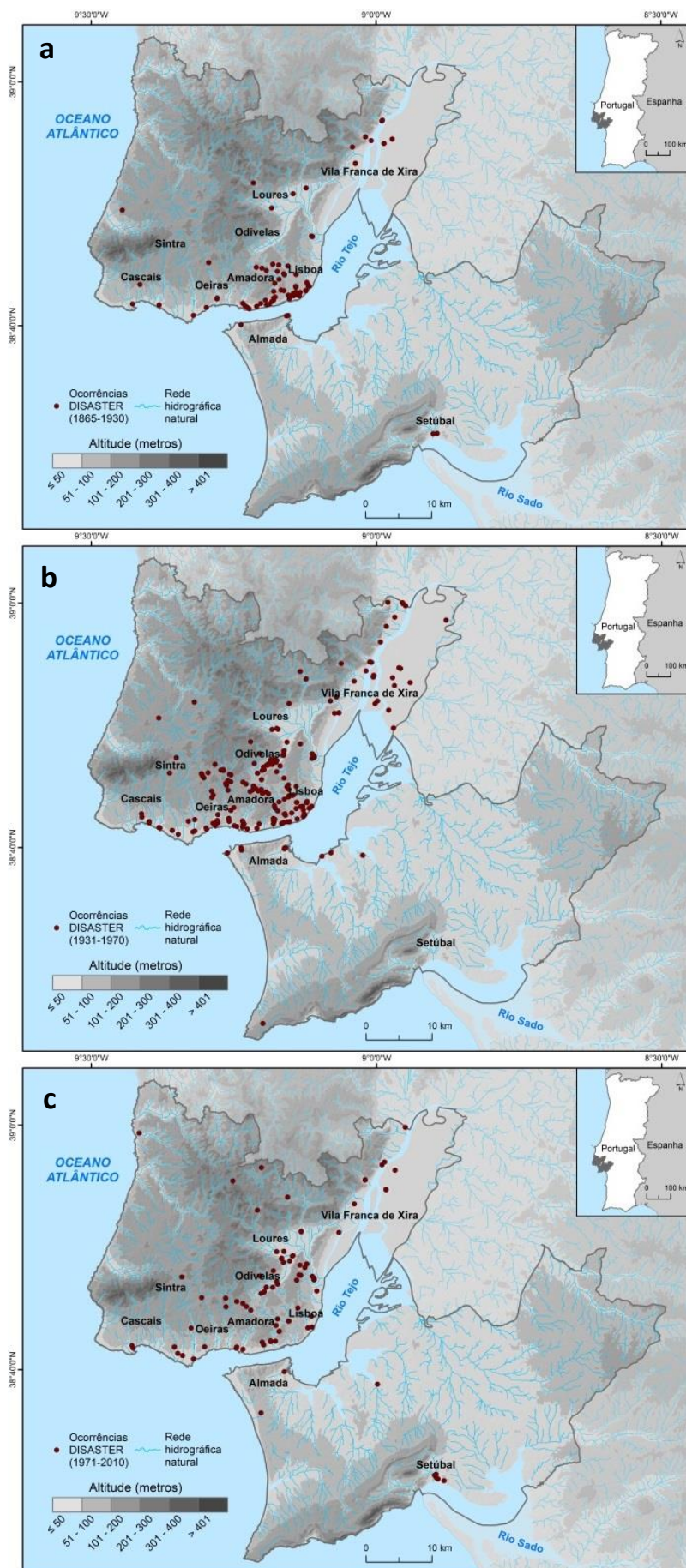


Figura 4.13 Distribuição espacial das ocorrências DISASTER na AML nos períodos 1865-1930 (a), 1930-1970 (b) e 1971-2010 (c).

No que respeita ao número de mortes, Vila Franca de Xira foi o município da AML em que as cheias/inundações assumiram proporções mais desastrosas, sendo registadas 313 mortes (58% do total da AML) entre 1865-2010 (figura 4.14b). Odivelas (96; 18%), Loures (40; 7%) e Oeiras (39; 7%) foram os concelhos seguintes, embora algo distantes dos números alcançados por Vila Franca de Xira. Apesar de ter sido o município com maior número de ocorrências DISASTER (134), Lisboa foi apenas o sexto na hierarquia das vítimas mortais. Para além dos concelhos sem ocorrências DISASTER (Alcochete, Montijo, Palmela e Seixal), só em Sesimbra é que não existiram mortes.

Há que não esquecer que muitas das mortes registadas na AML no período 1865-2010 se deveram ao evento extremo de 1967. Vila Franca de Xira (264 mortes) e Odivelas (95 mortes) foram os municípios mais afectados durante este evento. Tal como referem Trigo *et al.* (2016), grande parte das mortes ocorreram em poucos locais que, porém, apresentavam características peculiares do ponto de vista físico e da ocupação do território. Os dois casos mais paradigmáticos ocorreram nestes concelhos. Na aldeia de Quintas, localizada no sector jusante do rio Grande da Pipa, em Vila Franca de Xira, cerca de uma centena de pessoas perdeu a vida. Também ao longo do fundo de vale da ribeira da Póvoa (sub-bacia do rio Trancão), apelidado de “vale da morte” (Trigo *et al.*, 2016), morreram mais de 100 pessoas.

Analisando a importância das mortes causadas pelo evento de 1967 em cada concelho percebe-se que este não teve a mesma relevância em toda a AML (figura 4.14c). Isto deveu-se, em primeiro lugar, à distribuição espacial da precipitação desencadeante, que assumiu uma trajectória SW-NE, com os valores mais elevados a ocorrerem entre o Estoril e Alenquer (Trigo *et al.*, 2016). Também a localização, quantidade e qualidade das habitações, assim como o número de residentes por concelho tiveram um peso significativo na distribuição espacial das vítimas mortais durante este evento. É possível dividir os municípios em dois grandes grupos: os que registaram e os que não registaram mortes (referidas nos jornais). Para além daqueles em que não ocorreram mortes durante o período 1865-2010, e que já foram referidos, o evento de 1967 não causou vítimas mortais em Cascais, Lisboa, Mafra, Moita e Setúbal (figura 4.14c). Se a inexistência de mortes em concelhos como Cascais, Mafra ou Setúbal pode ser explicada, pelo menos em parte, pela distância ao núcleo de precipitação mais intensa, essa razão não se aplica a Lisboa. Neste caso, a inexistência de mortes e o reduzido número de ocorrências DISASTER (8) são, sobretudo, explicados por dois factores: 1) a canalização subterrânea das ribeiras do concelho, que, em 1967, já tinha sido concluída em quase toda a extensão das linhas de água da capital, alterando o tipo de inundação (de cheias rápidas para FREN); e 2) as melhores condições das habitações comparativamente à globalidade da AML, reflectindo-se numa menor vulnerabilidade.

Quanto aos municípios em que ocorreram mortes, é possível reuni-los em três agrupamentos distintos (figura 4.14c): 1) aqueles em que, tendo poucas mortes contabilizadas durante o período

estudado, todas ou quase todas aconteceram durante o evento de 1967 (Almada, Amadora e Barreiro); 2) aqueles em que, tendo um número importante de mortes no período 1865-2010, quase todas foram causadas pelo evento de 1967 (Odivelas e Oeiras); e 3) aqueles em que, apesar da maioria das mortes ter sido desencadeada pelo evento de 1967, existiram várias vítimas mortais causadas por outros eventos (Loures, Sintra e Vila Franca de Xira).

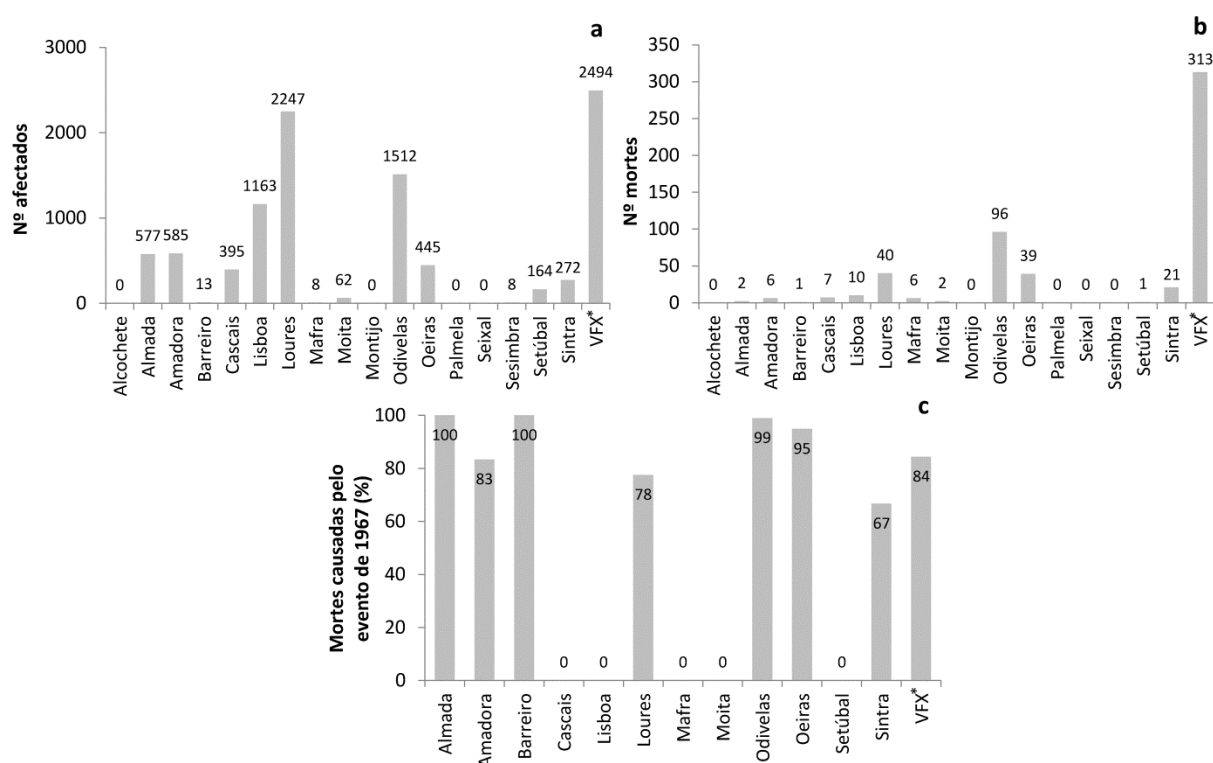


Figura 4.14 Danos humanos por município (1865-2010): **a)** afectados; **b)** mortes; e **c)** importância do evento de 1967 no total de mortes.

* VFX - Vila Franca de Xira.

Nota: a figura 4.14c contém apenas os municípios onde foram registadas mortes no período 1865-2010.

Tendo em conta a redução drástica e progressiva dos danos humanos verificada nos eventos extremos posteriores (1983 e 2008), é possível afirmar que a quantidade de consequências humanas depende muito mais da exposição e, sobretudo, da vulnerabilidade das populações e do edificado do que, propriamente, da magnitude da precipitação desencadeante. Naturalmente que, um evento extremo de precipitação dará sempre origem a muitas situações de cheias/inundações na AML, mas é a forma deficiente como se ocupa o território que faz aumentar os danos humanos.

A figura 4.15 permite constatar que um elevado número de ocorrências DISASTER não é, necessariamente, sinónimo de muitas pessoas afectadas. O exemplo mais paradigmático desta realidade é Lisboa, em que se verificaram, em média, 9 afectados por ocorrência DISASTER. Os valores mais elevados são os correspondentes aos concelhos de Amadora e Odivelas (49), seguidos de Loures (47), Vila Franca de Xira (46) e Almada (44). Mais uma vez a explicação para estes números residiu, em grande parte, na exposição e vulnerabilidade às cheias/inundações de cada município.

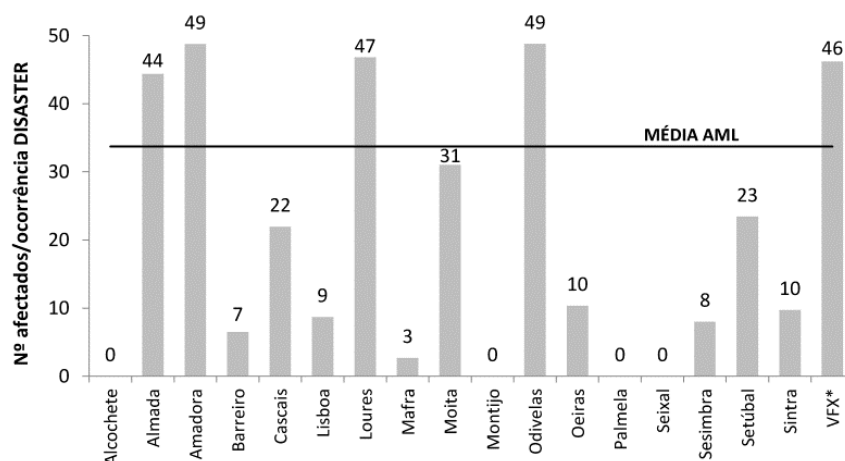


Figura 4.15 Número de afectados por ocorrência DISASTER nos municípios da AML (1865-2010).

* VFX - Vila Franca de Xira.

A desigualdade na repartição espacial das cheias/inundações que causaram danos humanos no período 1865-2010 teve também reflexos na quantidade de ocorrências DISASTER registadas em cada bacia hidrográfica. Recorde-se que foram delimitadas 68 bacias hidrográficas com área igual ou superior a 2 km² (85% do território da AML). Uma primeira divisão indica que 79% das ocorrências DISASTER se localizou nas bacias referidas e 12% em bacias com área inferior a 2 km². As restantes ocorrências DISASTER corresponderam a cheias do rio Tejo ou a situações em que foi impossível determinar a sua localização. Dentro das 68 bacias hidrográficas delimitadas foram contabilizados 66% das mortes, 56% dos evacuados, 87% dos desalojados e 75% dos afectados. As restantes bacias (não delimitadas) registaram 2% das mortes, 4% dos evacuados, 11% dos desalojados e 8% dos afectados. Quanto ao Tejo, o seu peso é, sobretudo, notório nos evacuados (40%). Releve-se ainda que quase 1/4 das mortes (139) não são localizáveis, estando associadas ao evento de 1967.

A figura 4.16a mostra a distribuição espacial das ocorrências DISASTER por bacia hidrográfica. No parágrafo anterior foi dito que 79% das ocorrências DISASTER aconteceu nas 68 bacias definidas, apesar de só em 32 delas (47%) se terem, de facto, registado ocorrências DISASTER. Os maiores números absolutos pertenceram às bacias do Trancão (81) e de Alcântara (63), garantindo 36% do total das ocorrências da AML. A estas seguiram-se as do Jamor (24), Baixa Lisboa (20), Barcarena (19) e Chelas (16). Isto significa que em pouco menos de 13% da AML concentraram-se 56% das ocorrências DISASTER. Das 32 bacias com ocorrências DISASTER, apenas 12 registaram mais de 5 ocorrências. Estes números significam que, por um lado, não se verificaram danos humanos (relatados nos jornais) em mais de metade das bacias hidrográficas da AML e que, por outro, estes se concentraram, essencialmente, nas bacias que drenam o concelho de Lisboa e os municípios vizinhos. Este facto explica-se pela maior exposição e/ou vulnerabilidade das populações e edifícios às cheias/inundações nestas áreas e pelas características físicas das bacias hidrográficas em causa, que as tornam mais susceptíveis a estes fenómenos naturais.

Para além dos valores absolutos, vale a pena efectuar uma ponderação pela área de cada bacia (figura 4.16b). Note-se que a superfície considerada nesta análise é a que está inserida dentro dos limites da AML, até porque apenas são contabilizadas as ocorrências DISASTER da AML.

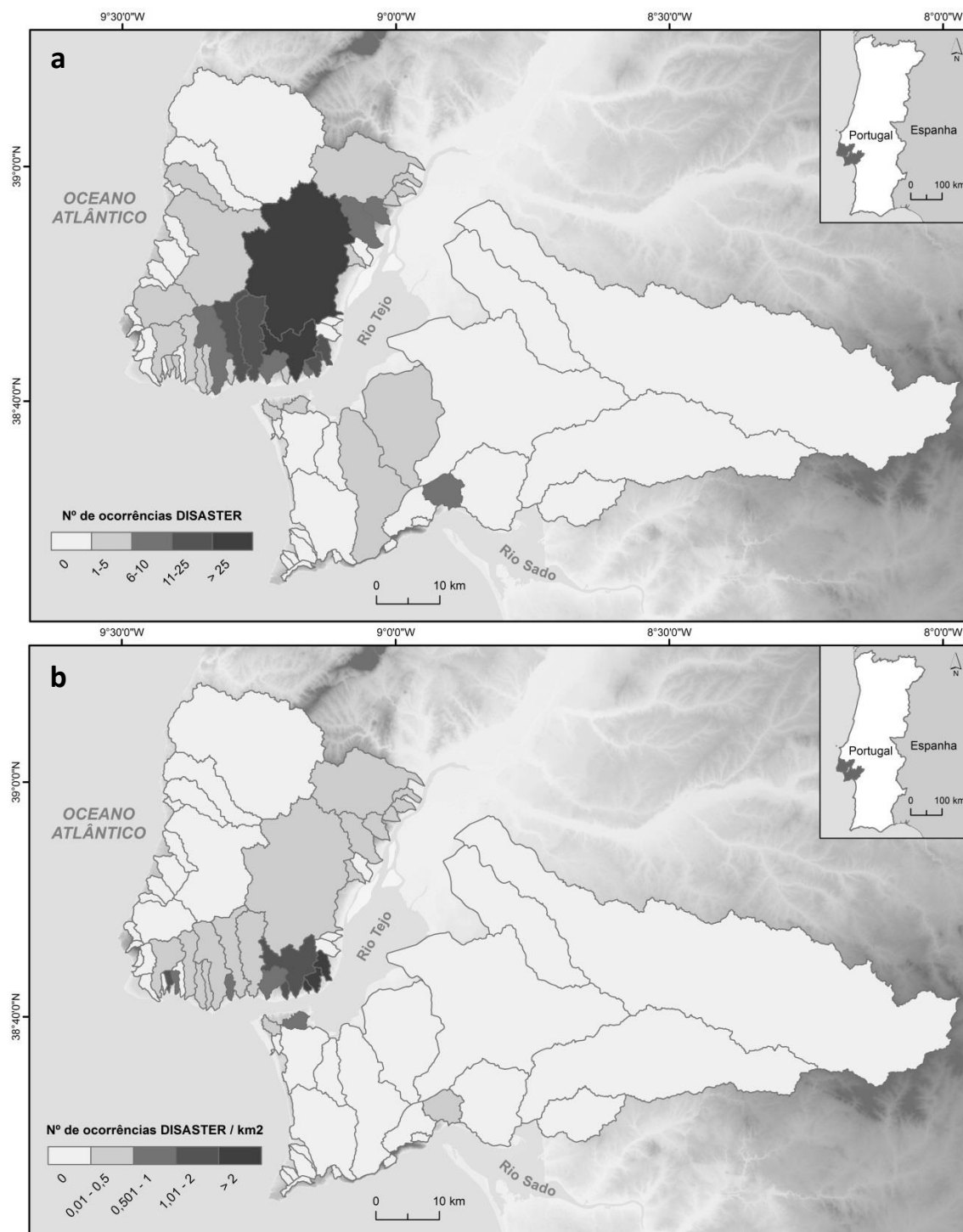


Figura 4.16 Número de ocorrências DISASTER (a) e de ocorrências DISASTER/km² (b) nas bacias hidrográficas da AML (1865-2010).

Existem seis bacias hidrográficas com mais de uma ocorrência/km²: Estrela (3,9); Baixa Lisboa (3,3); Chelas (2,2); Alcântara (1,5); Ajuda (1,5); e Monte Estoril (1,1) (figura 4.16b). Com excepção da bacia do Monte Estoril (2,9 km² de superfície), com três ocorrências DISASTER, todas têm a totalidade ou a maior parte da sua área incluída dentro do município de Lisboa. Este peso da capital está relacionado com a grande concentração de população e de edifícios durante várias décadas. Os Censos de 1960 mostravam que 53% da população da AML Norte residia em Lisboa e 28% dos edifícios faziam parte deste concelho (3% da área total da AML). Aliado às já abordadas dificuldades de cobertura jornalística das situações mais distantes da capital, compreende-se assim por que razão Lisboa contabilizou 46% das ocorrências DISASTER da AML até 1960.

A distribuição dos afectados por bacia (figura 4.17a) foi um pouco distinta da das ocorrências DISASTER (figura 4.16a). A bacia do Trancão destacou-se das restantes, totalizando 3467 afectados, o que correspondeu a 35% do total da AML. Cerca de 3/4 destes números deveram-se aos desalojados provocados pelos eventos extremos de 1967 e 1983. A segunda bacia com maior número de pessoas afectadas (653; 7% do total da AML) foi a de Alcântara, à qual se seguiram 11 bacias com números que variaram entre 101 e 500 afectados. São os casos, por ordem de importância, de Caramujo, Jamor, Grande da Pipa, Santa Sofia, Santo António, Chelas, Vinhas, Laje, Livramento, Caneira e Ajuda. Já os afectados resultantes de cheias do Tejo representaram 14% do total da AML.

Em comparação com as ocorrências DISASTER, é notória a perda de importância das bacias hidrográficas de Lisboa no que concerne aos afectados, mesmo quando se ponderam os valores pela área de cada bacia (figura 4.17b). O número de afectados/km² foi mais elevado nas bacias de Santa Sofia (68), Caramujo (54) e Ajuda (51). Contabilizaram-se 25 a 50 afectados/km² nas bacias de Chelas (39), Caneira (28) e Santo António (26).

Sendo a mais gravosa das consequências humanas, importa compreender a repartição espacial das mortes por bacia hidrográfica (figura 4.18a). Se houve ocorrências DISASTER em 32 das bacias consideradas, apenas se registaram mortes em 20 delas. Quase 2/3 do total de mortes ocorreu nestas bacias, sendo que perto de 1/4 do total das mortes na AML tem localização indeterminada, logo não é possível associá-las a qualquer bacia.

Em valores absolutos, as bacias do Trancão (140) e do rio Grande da Pipa (108) evidenciaram-se das restantes, essencialmente devido ao evento de 1967. Estas foram as duas bacias mais afectadas por esse evento, com 126 e 108 mortes, respectivamente. Outras bacias relevantes deste ponto de vista foram Silveira/Crós-Cós (28 mortes), Jamor (23 mortes), Santo António (15 mortes) e Barcarena (14 mortes). Através da ponderação destes valores pela área de cada bacia, a do rio Grande da Pipa destacou-se das restantes com 7 mortes/km² (figura 4.18b). Isto deve-se ao elevado número de vítimas mortais ocorridas em Quintas durante o evento de 1967, mas também porque apenas 14% (16 km²) da área total da bacia se situa dentro dos limites da AML. As bacias de Santo

António e Silveira/Crós-Cós, com números superiores a uma morte/km², são as seguintes na hierarquia, embora longe do Rio Grande da Pipa. De qualquer forma, há que referir que estas três bacias, ou, pelo menos, o seu sector terminal, fazem parte do município de Vila Franca de Xira.

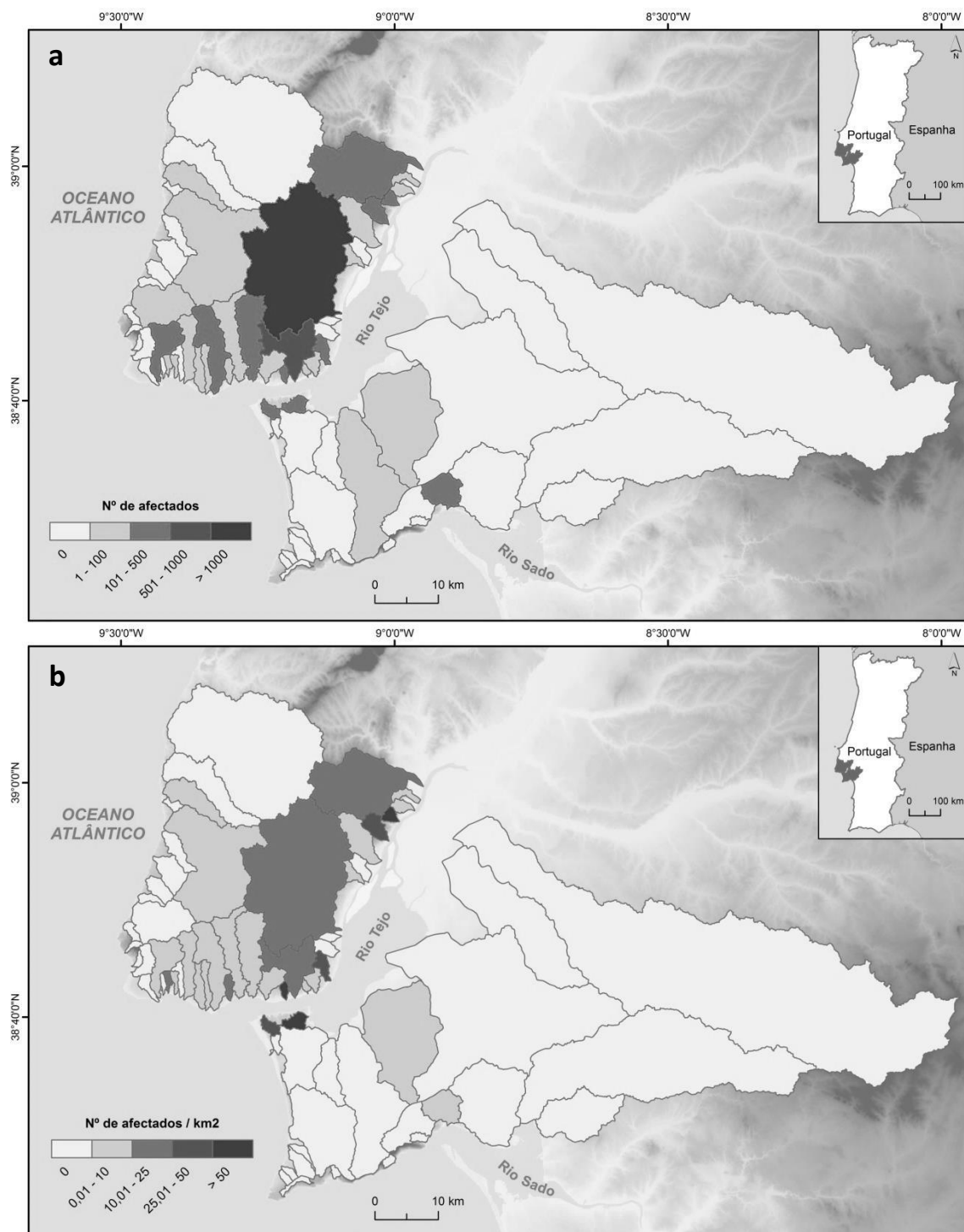


Figura 4.17 Número de afectados **(a)** e de afectados/km² **(b)** nas bacias hidrográficas da AML (1865-2010).

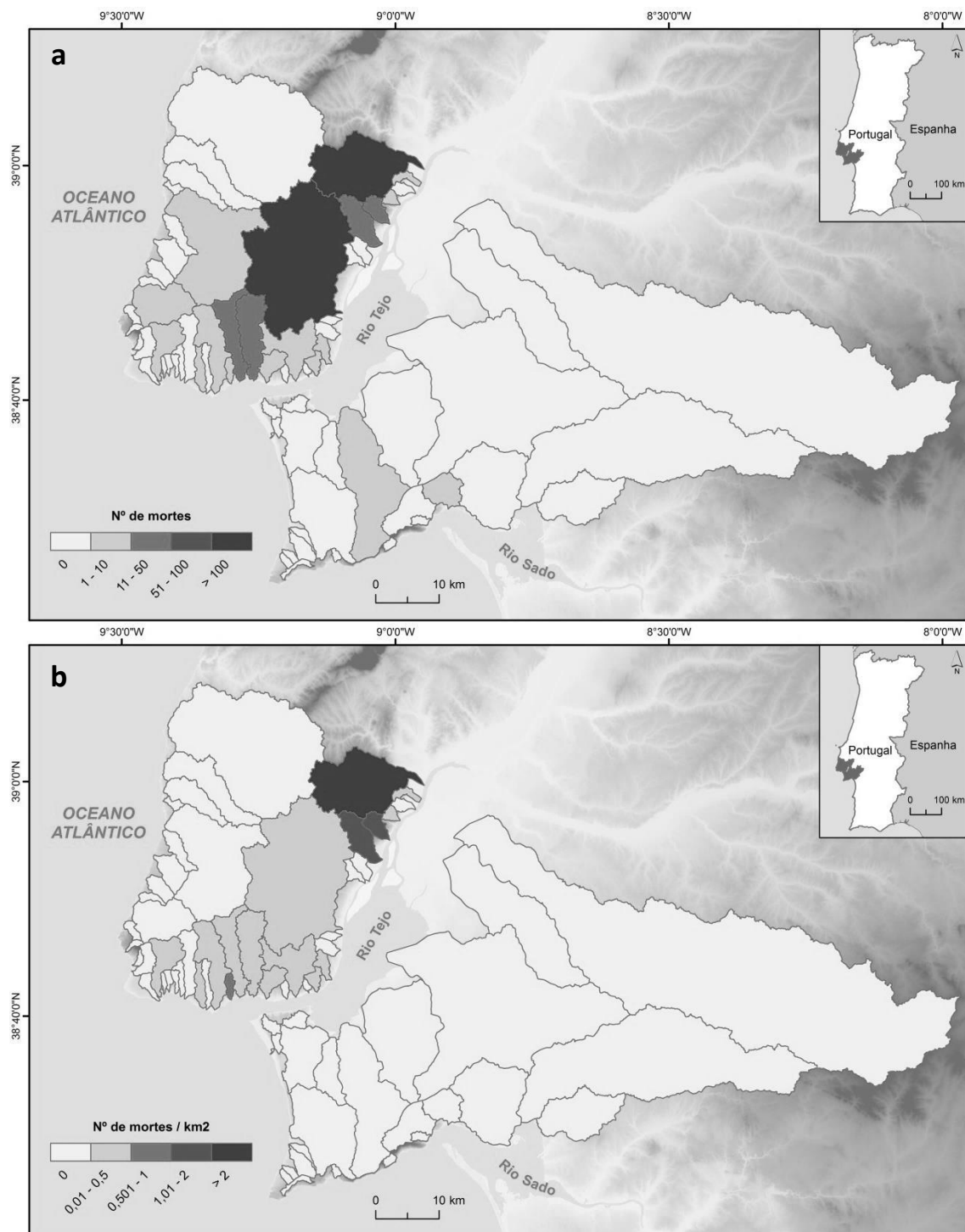


Figura 4.18 Número de mortes **(a)** e de mortes/km² **(b)** nas bacias hidrográficas da AML (1865-2010).

4.2.2. Resultados por tipo de inundação

4.2.2.1. Importância dos tipos de inundações nos danos humanos

No ponto anterior, os resultados obtidos a partir da base de dados DISASTER foram explorados e analisados em conjunto de modo a entender a importância da AML no contexto do País e determinar a distribuição espacial e evolução temporal dos danos humanos. Importa agora compreender a relevância dos tipos de inundações que afectaram a área de estudo e de que forma foram capazes de gerar consequências distintas (figura 4.19 e tabela 4.4).

No período 1865-2010, as cheias rápidas foram o tipo de inundação mais relevante na AML, causando 51% das ocorrências DISASTER, 61% das mortes, 36% dos evacuados e 57% dos desalojados (figura 4.19 e tabela 4.4). Como se sabe, devido às suas características, as cheias rápidas são especialmente mortíferas. O tempo para que se possam evacuar as populações é limitado, sendo, por isso, essa uma tarefa muito complicada de executar. Isto explica, em grande parte, a elevada percentagem de mortes associadas e a menor importância dos evacuados.

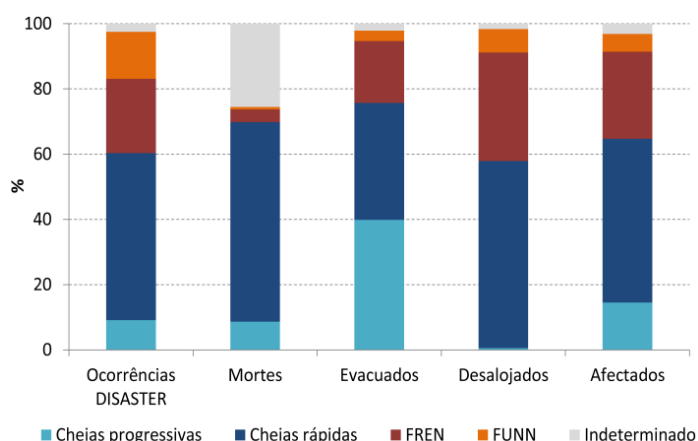


Figura 4.19 Ocorrências DISASTER e danos humanos por tipo de inundação na AML (1865-2010).

Tabela 4.4 Ocorrências DISASTER, mortes e afectados por tipo de inundação na AML (1865-2010).

Tipo de inundação	Ocorrências DISASTER		Mortes		Afectados	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
CP	36	9	47	9	1446	15
CR	203	51	333	61	4990	50
FREN	90	23	21	4	2653	27
FUNN	57	14	4	1	544	5
Indeterm.	10	3	139	25	312	3
Total	396	100	544	100	9945	100

CP – Cheias progressivas; CR – Cheias rápidas; Indeterm. – indeterminado.

Isto é algo que não sucede nas cheias progressivas, em que é possível alertar ou, em último caso, evacuar as populações em tempo útil. Como tal, este tipo de inundação não tem capacidade para gerar tantos e tão graves danos humanos como as cheias rápidas. As cheias progressivas representaram apenas 9% das ocorrências DISASTER e das mortes presentes na base de dados DISASTER (tabela 4.4). Por seu turno, os evacuados atingiram os 40%, o que fez com que 15% dos afectados fossem consequência das cheias progressivas. Quanto às inundações urbanas, as FREN apresentaram valores entre 20% e 30%, com excepção das mortes (4%), enquanto as FUNN foram o tipo de inundação menos relevante, contabilizando 14% das ocorrências DISASTER, mas não ultrapassando 10% em mais nenhuma das componentes analisadas (figura 4.19). Por outro lado,

existiram 10 ocorrências DISASTER (3% do total) em que não foi possível apurar qual o tipo de inundação que as desencadeou. Quatro dessas ocorrências DISASTER fazem parte do evento de 1967, daí a elevada percentagem de mortes atribuídas a ocorrências DISASTER não localizáveis.

4.2.2.2. Evolução temporal

A frequência anual acumulada das ocorrências DISASTER por tipo de inundação está representada na figura 4.20. A importância dos eventos extremos (1967, 1983 e 2008) na evolução temporal das ocorrências DISASTER, especialmente dos dois primeiros, pode ser observada pelas principais rupturas de declive presentes no gráfico (figura 4.20). Para além destes eventos, as cheias de 1936 e 1937 estão também aqui representadas devido às muitas ocorrências DISASTER (36 repartidas por nove eventos) causadas por cheias progressivas e cheias rápidas nesses dois anos. Destaque para o evento DISASTER de Novembro de 1937, do qual resultou o maior número de ocorrências DISASTER causadas por um único evento (16) até ao evento de 1967. Apesar de não ter causado mortes, este foi o evento que desencadeou mais ocorrências DISASTER nos primeiros 102 anos da base de dados.

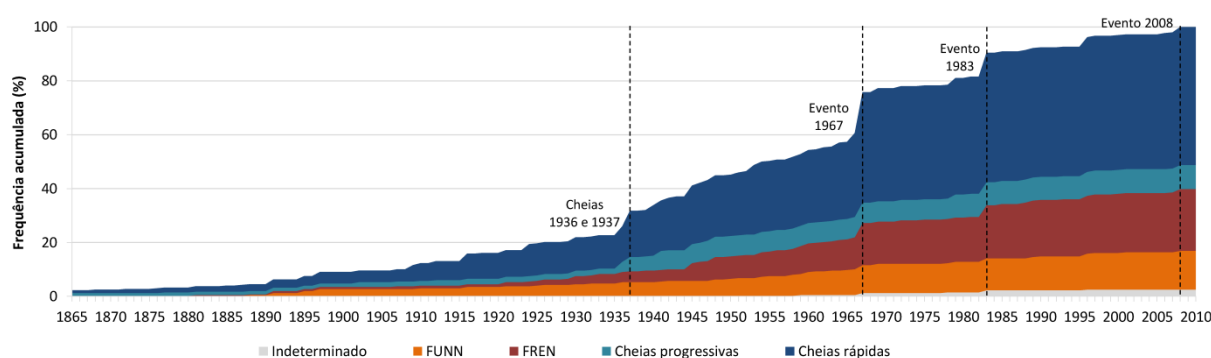


Figura 4.20 Frequência anual acumulada de ocorrências DISASTER por tipo de inundação na AML (1865-2010).

Tal como já foi mencionado, as cheias rápidas assumiram mais de metade do número total de ocorrências DISASTER, verificando-se um crescimento notório até ao evento de 1967 (figura 4.20). A partir daí, verificou-se um abrandamento do ritmo evolutivo do número de ocorrências DISASTER causadas por este tipo de inundação. Ainda assim, e apesar da tendência de crescimento até 1967, as cheias rápidas não voltaram a atingir mais de 50% do total de ocorrências DISASTER por década desde os anos 30 (figura 4.21). A única exceção foi a década de 60 (65%), devido ao evento de 1967 (39 das 60 ocorrências DISASTER deveram-se a cheias rápidas).

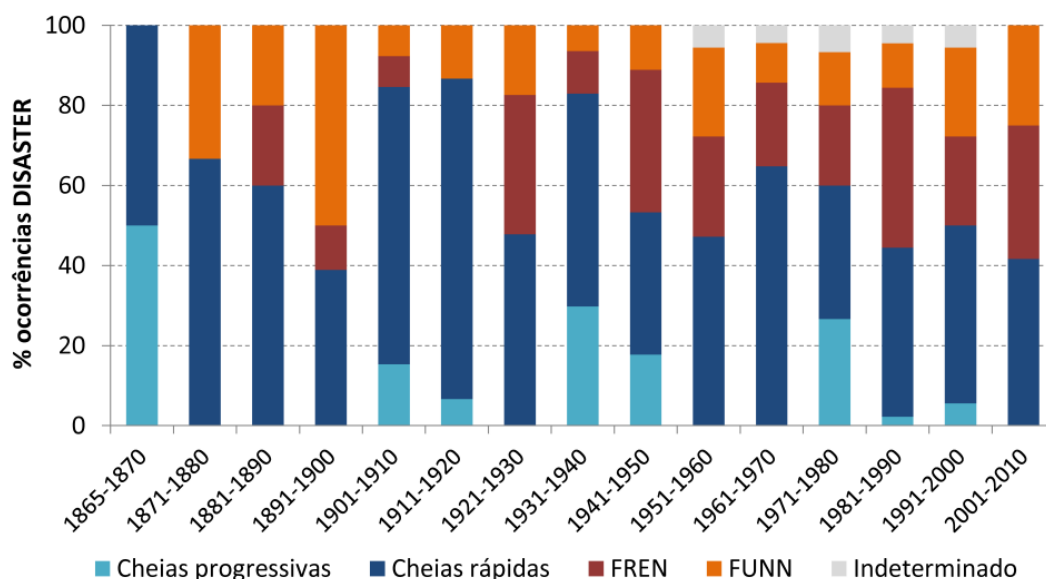


Figura 4.21 Evolução das ocorrências DISASTER por tipo de inundação e por década na AML (1865-2010).

As FREN tornaram-se frequentes sobretudo a partir da década de 20 (figuras 4.20 e 4.21). Este facto é explicado pelo início da expansão urbana de Lisboa, resultando num aumento da extensão das superfícies impermeabilizadas. A diminuição da infiltração e o incremento do volume e velocidade do escoamento superficial resultaram numa maior frequência de ocorrências DISASTER na baixa da cidade e nas suas áreas mais antigas, onde as linhas de água já estavam canalizadas subterraneamente ou tinham sido enterradas. A partir dos anos 40 e ao longo das duas décadas seguintes, a canalização subterrânea de cursos de água tornou-se uma medida cada vez mais comum. O progressivo desaparecimento (à superfície) das linhas de água foi-se estendendo às áreas periféricas de Lisboa e a outros municípios da AML, fazendo com que as FREN conquistassem cada vez mais importância (figuras 4.20 e 4.21) e se tornassem o segundo tipo de inundação com maior número de ocorrências DISASTER (figura 4.19).

As FUNN tiveram uma evolução mais ou menos constante ao longo das décadas (figura 4.20), o que está ligado de forma implícita ao aumento crescente da população e do número de edifícios (figura 1.22a). Porém, as FUNN acabaram por não ser particularmente relevantes no total de ocorrências DISASTER porque o seu potencial para causar danos humanos é menor quando comparado com outros tipos de inundações.

As cheias progressivas tiveram uma relevância maior na AML durante a primeira metade do século XX (figura 4.21). As já mencionadas cheias de 1936 e de 1937 e a cheia centenária do rio Tejo, ocorrida em Fevereiro de 1979, foram os maiores eventos de cheias progressivas. Este último foi a única excepção à tendência de perda verificada para este tipo de inundação desde os anos 50 (figuras 4.20 e 4.21). Este facto deveu-se à construção das barragens no Tejo na segunda metade do século XX, tanto em Portugal como em Espanha, levando à diminuição na frequência das cheias

devido à capacidade de retenção e encaixe do escoamento (Ramos e Reis, 2002; Azevêdo *et al.*, 2004). Todavia, em 1979, a gestão inadequada das descargas das barragens por parte dos dois países causou um aumento dos caudais de ponta de cheia, exponenciando os danos causados a jusante (Ramos e Reis, 2002; Azevêdo *et al.*, 2004). As consequências deste evento acabariam por servir de aviso para a urgência de uma gestão comum eficaz. A redução significativa ou até a inexistência de danos humanos durante eventos posteriores, como se verificou durante as cheias de 2000/01, provaram as melhorias na coordenação entre Portugal e Espanha. A este propósito importa mencionar a relevância da Convenção sobre Cooperação para a Protecção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-Espanholas (Convenção de Albufeira) assinada entre os dois países em 1998. A última ocorrência DISASTER desencadeada por cheias progressivas registou-se em 1996.

A importância de cada tipo de inundação não foi sempre igual ao longo do período 1865-2010. A figura 4.22 procura demonstrar essa realidade através da determinação de linhas de tendência lineares. Aqui foi considerada a percentagem de ocorrências DISASTER por década e para cada um dos tipos de inundação considerados. A opção pela utilização dos valores relativos permite compreender a variação temporal da relevância dos vários tipos de inundações, independentemente dos valores absolutos atingidos em cada década. As FREN foram as únicas que registaram um incremento ($y = 2,12x + 1,82$), sendo este feito, essencialmente, à custa da diminuição da importância relativa das cheias rápidas ($y = -1,41x + 62,92$) (figura 4.22). Existem dois factores interligados que justificaram isto. O primeiro foi o surgimento tardio das FREN, motivado pela canalização subterrânea de alguns dos principais cursos de água da AML a partir da década de 40. Isto levou a que parte das ocorrências DISASTER causadas por cheias rápidas fosse substituída por ocorrências desencadeadas por FREN, principalmente em Lisboa, mas também em municípios como Amadora, Loures ou Oeiras. O segundo factor está ligado às intervenções de engenharia executadas em alguns dos cursos de água mais problemáticos da AML depois do evento de 1983. Quanto aos outros dois tipos de inundação, houve uma diminuição da importância das cheias progressivas e uma tendência negativa insignificante das FUNN (figura 4.22).

No decorrer deste capítulo tem sido abordada por diversas vezes a importância dos três eventos extremos de precipitação (1967, 1983 e 2008) que afectaram a AML durante o período estudado (1865-2010). De seguida procura-se demonstrar a influência destes três eventos no número de ocorrências DISASTER causadas pelos quatro tipos de inundações e de que forma as suas evoluções temporais seriam afectadas se eles não tivessem ocorrido. Para isso, foram estabelecidas linhas de tendência para cada tipo de inundação, com recurso ao número de ocorrências DISASTER com e sem os eventos extremos (figura 4.23). Tendo em conta que estes eventos foram desencadeados por episódios de precipitação intensa, muito concentrados no tempo (poucas horas)

e no espaço (afectando essencialmente a AML), estes não causaram, por si só, cheias no rio Tejo. Isto justifica a coincidência das linhas de tendência das cheias progressivas (figura 4.23a). Pelo contrário, os eventos extremos causaram muitas ocorrências DISASTER de cheias rápidas (30% do total para cheias rápidas), FREN (30% das ocorrências FREN) e FUNN (12% das ocorrências FUNN). Como tal, os três eventos extremos assumiram um peso significativo nas cheias rápidas e nas FREN, influenciando decisivamente as linhas de tendência correspondentes (figuras 4.23b e 4.23c).

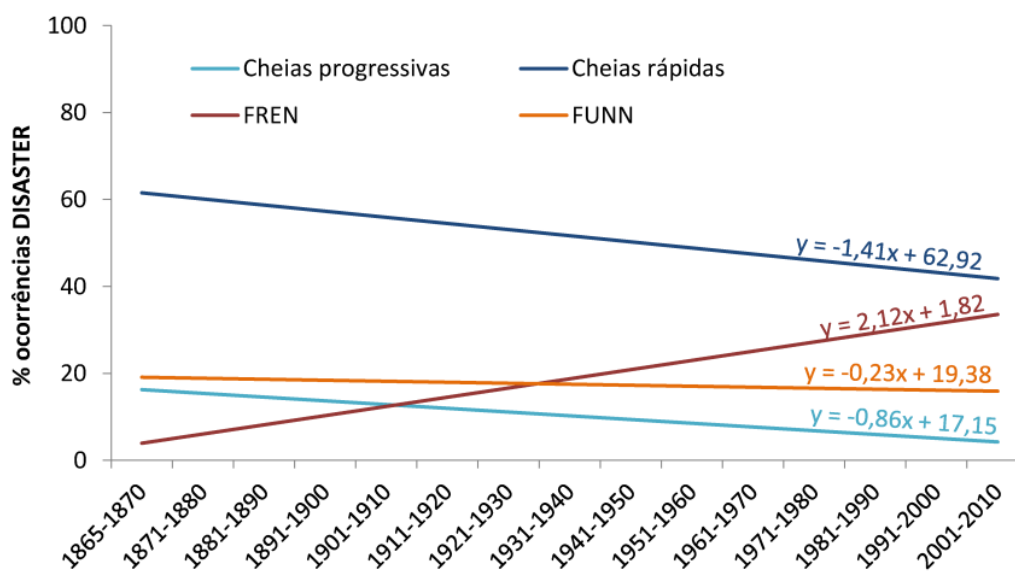


Figura 4.22 Linhas de tendência das ocorrências DISASTER (em %) de cada tipo de inundação por década na AML (1865-2010).

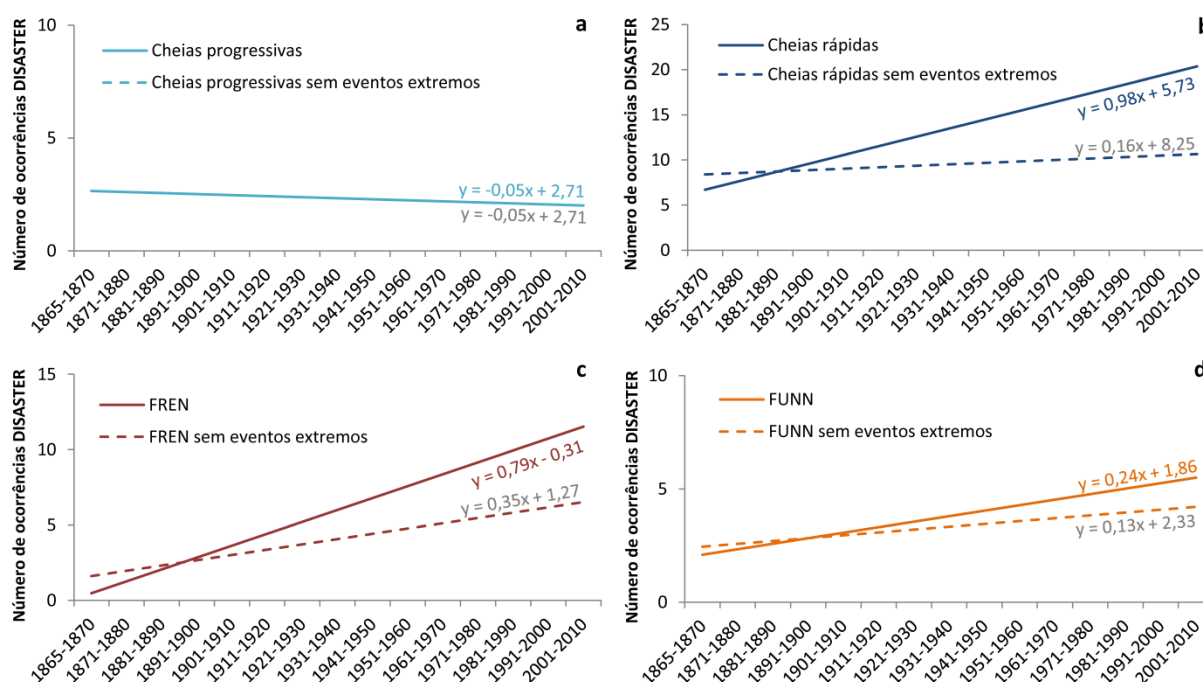


Figura 4.23 Linhas de tendência relativas às ocorrências DISASTER de cada tipo de inundação, com e sem eventos extremos, na AML (1865-2010): **a)** cheias progressivas; **b)** cheias rápidas; **c)** FREN; **d)** FUNN.

Apesar da importância dos eventos extremos de precipitação ter sido significativa nas cheias rápidas, nas FREN e nas FUNN, constataram-se algumas diferenças no que diz respeito à evolução temporal, ilustradas pelo declive das rectas de tendência: 1) nas cheias rápidas verificou-se a maior diferença entre valores com e sem os eventos extremos (figura 4.23b; 0,98 com e 0,16 sem eventos extremos), provando que a sua tendência evolutiva foi a mais condicionada pelas precipitações com magnitude muito elevada; 2) ao contrário das cheias rápidas, as FREN mantiveram uma tendência positiva relevante mesmo sem os eventos extremos (figura 4.23c; 0,79 com e 0,35 sem eventos extremos), o que significa que o número crescente de ocorrências DISASTER causadas pelas FREN não foi totalmente explicada por estes eventos; e 3) nas FUNN existiu a menor diferença entre as duas linhas de tendência (entre aquelas que possuem tendências positivas) (figura 4.23d; 0,24 com e 0,13 sem eventos extremos), indicando que a sua tendência evolutiva foi a menos condicionada pelos três eventos. Acrescente-se ainda que, ao contrário das FREN e das FUNN, são necessárias precipitações com períodos de retorno mais elevados para que ocorram cheias rápidas, o que ajuda a explicar a grande influência dos eventos extremos no declive da recta. Esse declive ainda é mais acentuado porque os três eventos ocorreram nos últimos 50 anos de uma série de dados com 146 anos.

Para compreender a importância dos tipos de inundações ao longo do ano, analisa-se de seguida a distribuição intra-anual das ocorrências DISASTER causadas pelas cheias progressivas, cheias rápidas, FREN e FUNN durante o período 1865-2010 (figura 4.24). As ocorrências DISASTER revelam padrões distintos ao longo do ano.

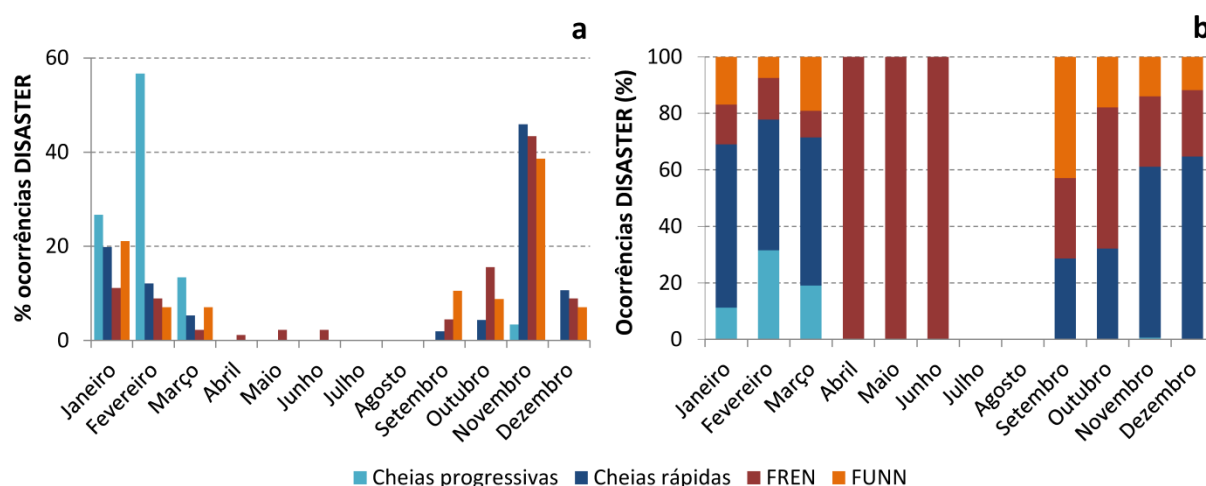


Figura 4.24 Distribuição intra-anual das ocorrências DISASTER por tipo de inundações (a) e a sua importância relativa em cada mês (b).

As cheias progressivas concentraram-se, sobretudo, nos meses de Inverno, no qual se destacou o mês de Fevereiro, com mais de metade das suas ocorrências (figura 4.24a). Por outro lado, mais de 30% do total de ocorrências DISASTER registadas neste mês corresponderam a este tipo de inundação (figura 4.24b).

As cheias rápidas ocorreram de Setembro a Março, sendo Novembro o mês com mais ocorrências DISASTER (46% do seu total), muito por culpa dos eventos extremos (1967 e 1983) (figura 4.24a). A figura 4.24b permite atenuar o peso dos eventos extremos e perceber a importância das cheias rápidas em comparação com os restantes tipos de inundações em cada mês. Neste contexto, as cheias rápidas atingiram mais de 60% das ocorrências DISASTER contabilizadas em Novembro e Dezembro.

Registaram-se ocorrências DISASTER provocadas pelas FREN em todos os meses (figuras 4.24a e 4.24b), excepto Julho e Agosto, em que não se registou qualquer ocorrência DISASTER no período 1865-2010. Apesar de serem pouco relevantes no contexto global, todas as ocorrências DISASTER contabilizadas em Abril, Maio e Junho foram desencadeadas pelas FREN. Este facto leva a crer que durante estes meses as precipitações já não tiveram magnitude suficiente para gerar cheias rápidas capazes de produzir danos humanos, mas que, em alguns casos, podem causar inundações urbanas em locais/sectores outrora ocupados por cursos de água à superfície.

Quanto às FUNN, ocorreram de Setembro a Março, sendo Novembro e Janeiro os meses mais importantes (figura 4.24a). Talvez o facto mais interessante é que Setembro foi o terceiro mês com mais ocorrências DISASTER (6) causadas pelas FUNN e que estas representaram mais de 40% das situações sucedidas neste mês (figura 4.24b). Se se juntarem as FREN às FUNN, constata-se que em Setembro mais de 70% das ocorrências DISASTER se deveram a inundações urbanas (figura 4.24b). Aliás, Outubro apresentou um padrão semelhante, que se deixou de verificar a partir de Novembro, quando as cheias rápidas passaram a assumir um papel bem mais relevante. A explicação prende-se com algo já mencionado. Aquando das primeiras chuvas depois da estiagem, a precipitação não se traduz, por norma, em escoamento fluvial, o que não sucede nas áreas fortemente impermeabilizadas, podendo dar origem a inundações urbanas.

4.2.2.3. Distribuição espacial

De forma sintética, é possível afirmar que existem diferentes padrões de distribuição espacial em função do tipo de inundação (figura 4.25). As cheias progressivas ocorreram apenas ao longo do rio Tejo (município de Vila Franca de Xira) e no seu estuário. As cheias rápidas ocorreram nas pequenas e médias bacias hidrográficas, predominantemente localizadas nos concelhos de Odivelas, Oeiras, Amadora e Loures. A maioria das FREN aconteceu no município de Lisboa, onde as linhas de

água foram sendo, de forma progressiva, canalizadas subterraneamente ou enterradas durante o século XX. Grande parte das FUNN também ocorreu em Lisboa. Este facto está relacionado com a elevada percentagem de áreas edificadas neste município (74% em 2010) e com as características da malha urbana da cidade (Oliveira e Ramos 2002).

Anteriormente confirmou-se que os diferentes tipos de inundações tiveram importâncias distintas ao longo das décadas devido ao grau de exposição e/ou vulnerabilidade da população e edifícios, à canalização subterrânea de muitos dos cursos de água que drenam a região e à acção das barragens do rio Tejo (figuras 4.13 e 4.21). Através da figura 4.26 é possível perceber quais as áreas mais afectadas nos três períodos identificados (1865-1930, 1931-1970 e 1971-2010) e de que forma se confirmam no território as tendências de redução das cheias rápidas e de incremento das FREN (figuras 4.21, 4.22 e 4.23).

Durante o primeiro período (1865-1930), 2/3 das ocorrências DISASTER deveu-se a cheias rápidas (figura 4.26a), numa época em que a maioria dos cursos de água ainda se encontrava à superfície. No que diz respeito às inundações urbanas (FREN e FUNN), estas concentraram-se, essencialmente, na Baixa e nas partes mais antigas da cidade de Lisboa (figura 4.26a).

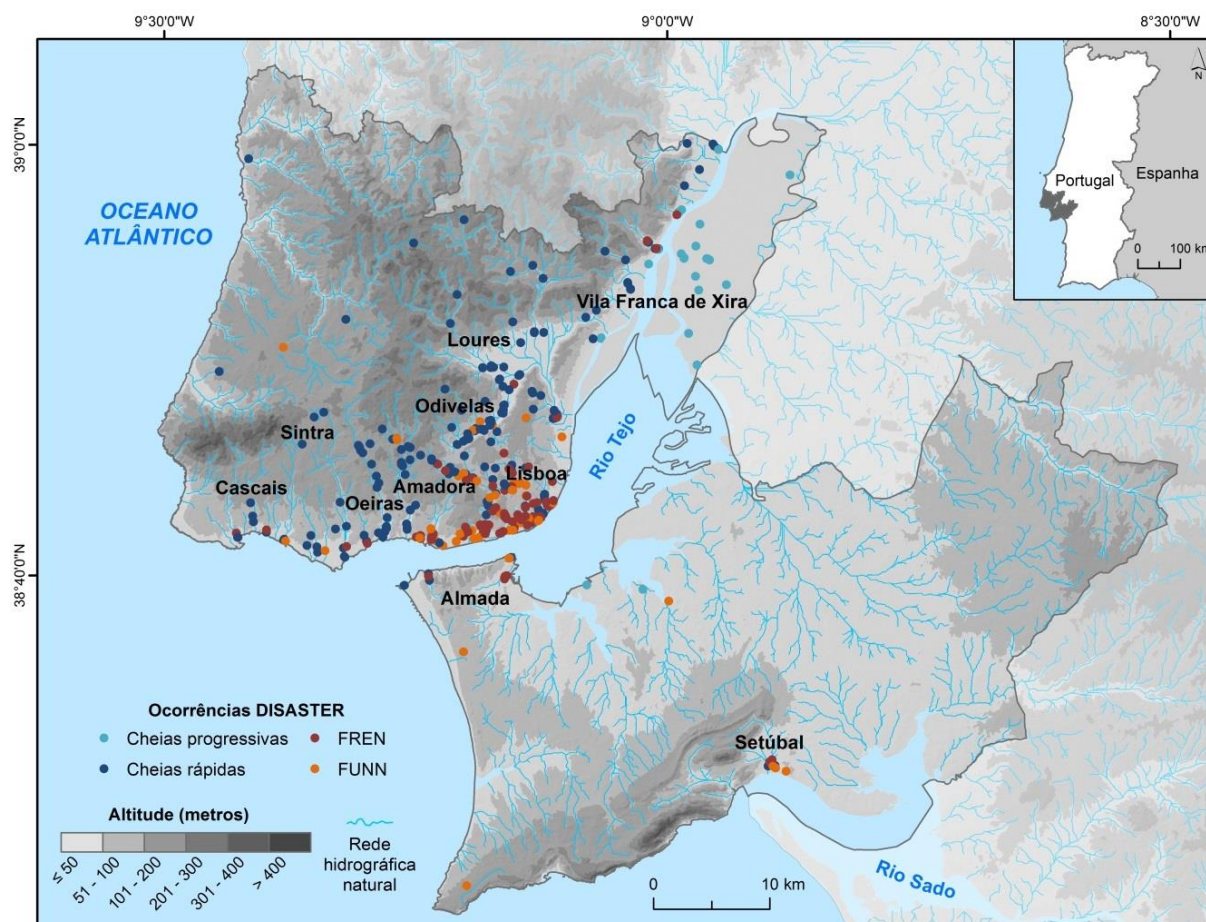


Figura 4.25 Distribuição espacial das ocorrências DISASTER por tipo de inundação na AML (1865-2010).

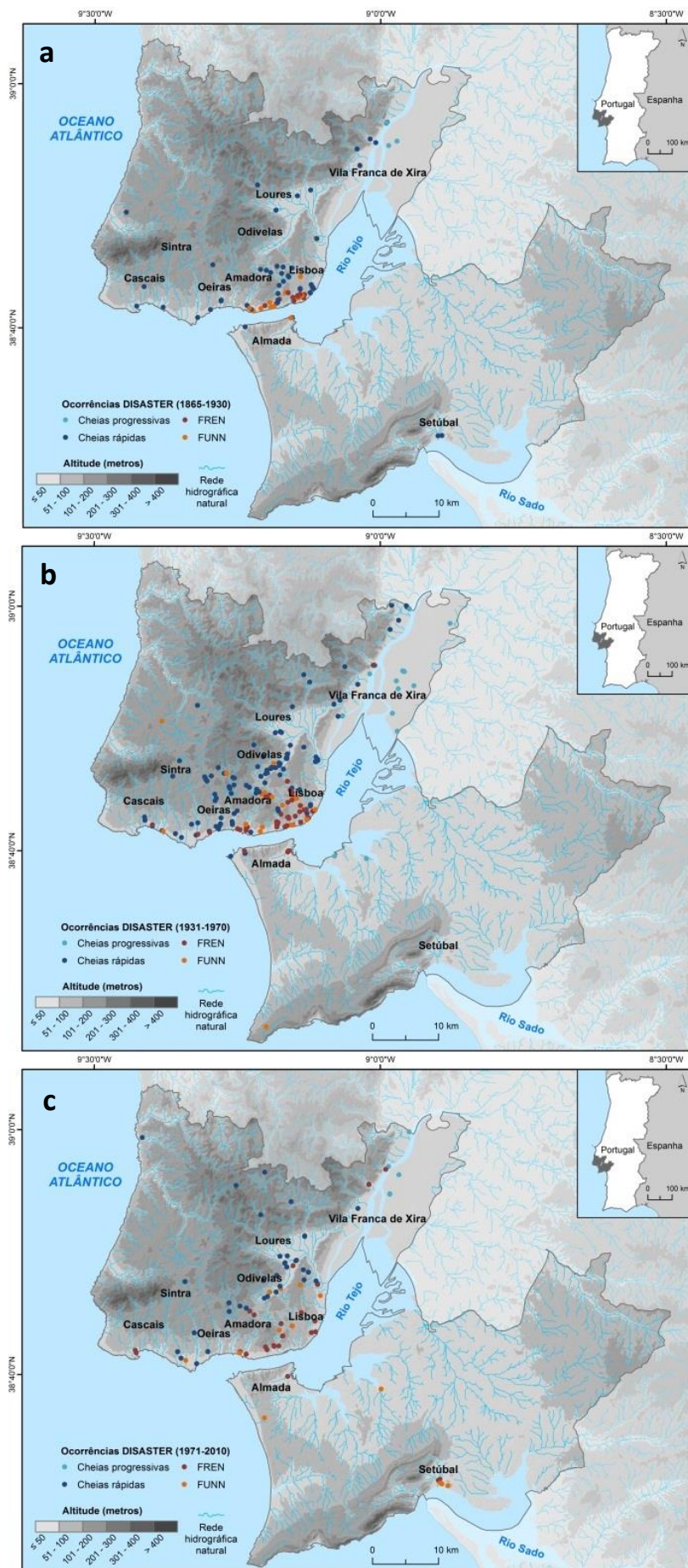


Figura 4.26 Distribuição espacial das ocorrências DISASTER por tipo de inundação na AML nos períodos 1865-1930 (a), 1930-1970 (b) e 1971-2010 (c).

O segundo período (1931-1970) ficou marcado, por um lado, pelo incremento substancial da população e dos edifícios na AML e, por outro, pela progressiva canalização subterrânea de muitos cursos de água, essencialmente em Lisboa, mas não só. O crescimento populacional conduziu ao aumento da exposição e vulnerabilidade às cheias e inundações, o que, aliado ao evento extremo de 1967, provocou o aumento da quantidade de ocorrências DISASTER e a sua proliferação em áreas que, até então, não tinham sido afectadas por estes fenómenos (figura 4.26b). As cheias rápidas continuaram a ser o tipo de inundação mais importante (53% do total neste período), mas as ocorrências DISASTER causadas por FREN aumentaram a sua importância na AML e já atingiam, nesta altura, 22% do total. A canalização subterrânea das linhas de água nas áreas mais periféricas do concelho de Lisboa, mas também em Oeiras, resultou no incremento global das FREN e na substituição das cheias rápidas por este tipo de inundação (figura 4.26b). Isto significa que o mesmo local, que era previamente afectado por cheias rápidas, passou a registar ocorrências DISASTER desencadeadas por FREN. Refira-se ainda que as FUNN diminuíram a sua importância relativa em comparação com o período anterior, passando de 21% para 11%. Releve-se ainda as cheias progressivas, estando registadas 22 ocorrências DISASTER durante o segundo período (10% do total), as quais se deveram, em grande parte, às cheias do Tejo de 1936 e 1937 (figura 4.26b).

A relevância das cheias rápidas voltou a diminuir (41% do total) no terceiro período (1971-2010), registando-se, ainda assim, ocorrências DISASTER em todos os municípios da AML Norte, excepto em Lisboa. Por outro lado, o peso das inundações urbanas subiu, com as FREN e as FUNN a representarem, em conjunto, 48% do total de ocorrências DISASTER (figura 4.26c). Lisboa foi, de facto, o concelho mais paradigmático desta nova realidade, onde as cheias rápidas desapareceram por completo, passando a ser exclusivamente afectado por inundações urbanas. A canalização subterrânea da quase totalidade das linhas de água de Lisboa acabou por reduzir de forma considerável os danos humanos associados a cheias/inundações. Isto não significa, todavia, que estes fenómenos já não sejam um problema, pois, embora a sua magnitude tenha diminuído, a sua frequência aumentou.

A concentração de ocorrências DISASTER em Lisboa constatada nos dois primeiros períodos deixou de se verificar no terceiro (figuras 4.26). Por outro lado, em municípios como Odivelas e Loures, continuou a existir uma densidade de pontos considerável e que, embora não tenham sido apenas causados por cheias rápidas, como quase só acontecia no período precedente, este tipo de inundação continuou a ser o mais representativo. Se se comparar as distribuições espaciais das ocorrências DISASTER na AML referentes ao primeiro e ao terceiro períodos é possível perceber que são bastante diferentes (figuras 4.26a e 4.26c). Parte da explicação pode ser atribuída à deficiente cobertura jornalística e às já referenciadas dificuldades de deslocação no século XIX e nas primeiras décadas do século XX. Ainda assim, a maior fatia da justificação reside na expansão das áreas

edificadas, nas opções e erros de ordenamento do território, e nas intervenções estruturais efectuadas em sectores críticos de alguns cursos de água depois do evento de 1983.

Vale também a pena notar o que se passou ao longo do tempo em Setúbal, cujas ocorrências DISASTER apenas sucederam na Baixa da cidade, correspondente ao troço final da ribeira do Livramento. Durante o primeiro período registaram-se duas ocorrências DISASTER, ambas devidas a cheias rápidas (figura 4.26a). Curiosamente, no período em que se registou o maior número de ocorrências DISASTER na AML (1931-1970), não se verificaram quaisquer cheias/inundações com danos humanos neste município (figura 4.26b). O terceiro período foi o que contabilizou a maior quantidade de ocorrências DISASTER em Setúbal (5), sendo que todas foram causadas por FREN ou FUNN (figura 4.26c). Deste modo, deixaram de se registar danos humanos provocados por cheias rápidas, que foram substituídas pelas FREN, depois da canalização subterrânea do troço final da ribeira do Livramento (Saraiva, 1995). O aumento das áreas impermeabilizadas resultante do crescimento da cidade e o aumento da população/edifícios expostos a inundações, justificaram a existência das outras ocorrências DISASTER, associadas às FUNN.

Nas páginas anteriores foram referidos alguns municípios de modo a enquadrar a distribuição temporal das ocorrências DISASTER na AML, contudo, é importante detalhar a importância de cada tipo de inundações em cada um deles. Ao efectuar essa análise foi perceptível a existência de diferentes perfis de concelho (figura 4.27). A maior concentração de ocorrências DISASTER em determinados concelhos e o tipo de inundações predominante em cada um deles variou em função das respectivas características físicas e das opções de ordenamento do território tomadas (figuras 4.12 e 4.25). Deste modo, os concelhos foram divididos em quatro agrupamentos (figura 4.27). O primeiro aponta para a predominância das cheias rápidas (acima de 60% do total) e é composto por Amadora, Cascais, Loures, Mafra, Odivelas, Oeiras e Sintra. Se exceptuarmos Mafra, que tem apenas três ocorrências DISASTER, e todas causadas por cheias rápidas, Odivelas foi o concelho cuja importância deste tipo de inundações foi maior (84% do total). O segundo grupo revela uma importância considerável das cheias progressivas, em que se destaca Vila Franca de Xira, mas também podem ser incluídos Barreiro e Moita, embora o seu número de ocorrências DISASTER seja escasso (cada um com duas ocorrências no total). O terceiro grupo inclui os concelhos de Almada, Lisboa e Setúbal, onde existiu um domínio das inundações urbanas (FREN e FUNN), com percentagens superiores a 65%. O quarto grupo representa os municípios sem expressão na base de dados DISASTER e inclui Sesimbra, que apenas tem uma ocorrência DISASTER (FUNN), e os restantes concelhos que não estão representados na figura 4.27 (Alcochete, Montijo, Palmela e Seixal).

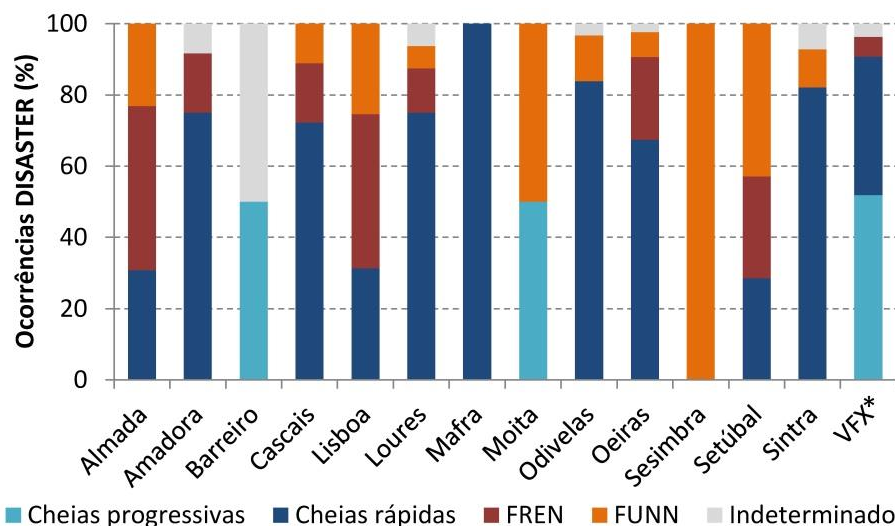


Figura 4.27 Distribuição (%) das ocorrências DISASTER resultantes dos vários tipos de inundações por município na AML (1865-2010).

* Vila Franca de Xira.

Nota: estão incluídos na figura apenas os municípios em que foram contabilizadas ocorrências DISASTER.

Para além das ocorrências DISASTER, importava compreender a distribuição dos afectados (figura 4.28a) e, mais especificamente, das mortes (figura 4.28b) que resultaram dos vários tipos de inundações em cada município. Quanto aos afectados, o padrão é semelhante ao das ocorrências DISASTER (figuras 4.27 e 4.28a). Todavia, percebe-se que as FREN assumiram um papel mais relevante em concelhos como Almada, Amadora, Cascais, Lisboa ou Setúbal, algo que esteve relacionado com o aumento da exposição ao longo do tempo. Exceptuando Lisboa, as FREN só começaram a surgir em meados do século XX (quando os cursos de água foram canalizados subterraneamente), numa altura em que já existiam muito mais habitantes e edifícios expostos a inundações, em comparação com o século XIX e o início do século XX, quando as cheias rápidas eram predominantes. No entanto, é preciso não esquecer que a capacidade de um tipo de inundações para gerar mortes, evacuados ou desalojados é distinta. No caso das mortes, e tal como foi demonstrado na figura 4.19, a capacidade das cheias rápidas é substancialmente maior em comparação com a dos restantes tipos de inundações. É essa a realidade demonstrada pela figura 4.28b, em que muitos dos municípios tiveram a maioria das suas mortes associadas a cheias rápidas. Note-se que Almada e Moita registaram duas mortes e que Barreiro e Setúbal tiveram apenas uma, sendo que essas mortes resultaram sempre de uma única ocorrência DISASTER, daí estes quatro concelhos apresentarem 100% das mortes associadas a um único tipo de inundações (figura 4.28b).

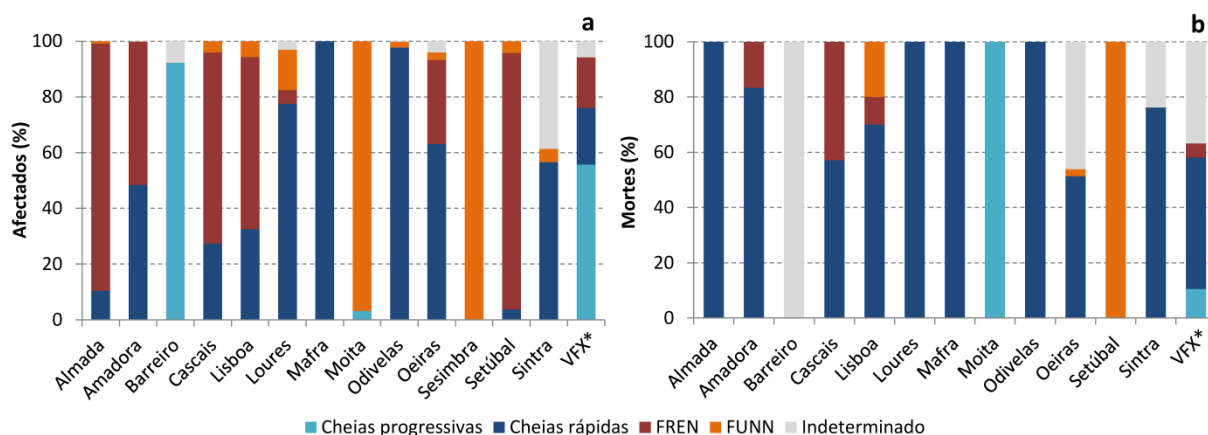


Figura 4.28 Distribuição (%) dos afectados (a) e das mortes (b) resultantes dos vários tipos de inundações por município na AML (1865-2010).

* Vila Franca de Xira.

Nota: estão incluídos apenas os municípios em que foram contabilizados afectados, no caso da figura 4.28a, e mortes, no caso da figura 4.28b.

Por fim, analisou-se a distribuição das ocorrências DISASTER associadas a cada tipo de inundação nas bacias hidrográficas que drenam a AML (figuras 4.29 e 4.30). Para efeitos de representação gráfica e cartográfica, consideraram-se apenas as bacias em que foram contabilizadas duas ou mais ocorrências. Na figura 4.29, o total de ocorrências DISASTER é apresentado entre parêntesis, estando as bacias hierarquizadas por ordem decrescente de importância das cheias rápidas.

Confirmou-se que, na maioria das bacias hidrográficas, as cheias rápidas foram o tipo de inundação mais importante e mais capaz de gerar danos humanos. Destacou-se Barcarena, em que todas as ocorrências DISASTER (19) foram provocadas por cheias rápidas, mas também Trancão e Jamor, onde se registaram muitas ocorrências e valores superiores a 80% (figura 4.29). A exclusividade das cheias rápidas ocorreu, para além de Barcarena, nas bacias de Caniços, Caparide, Grande da Pipa, Marianas, Monte Estoril e Silveira/Crós-Cós. 2/3 ou mais das ocorrências DISASTER foram causadas por cheias rápidas em 14 das 24 bacias representadas (figura 4.29). Das 10 restantes, Chelas, Cadaveira, Alcântara e Algés não tiveram um tipo de inundação predominante no período 1865-2010 (figura 4.29), sintoma do efeito da canalização subterrânea dos respectivos cursos de água a partir de meados do século XX. Estas bacias sofreram os efeitos danosos provocados pelas cheias rápidas até à canalização subterrânea das suas linhas de água principais, mas continuaram a ocorrer FREN, embora com danos humanos menos graves.

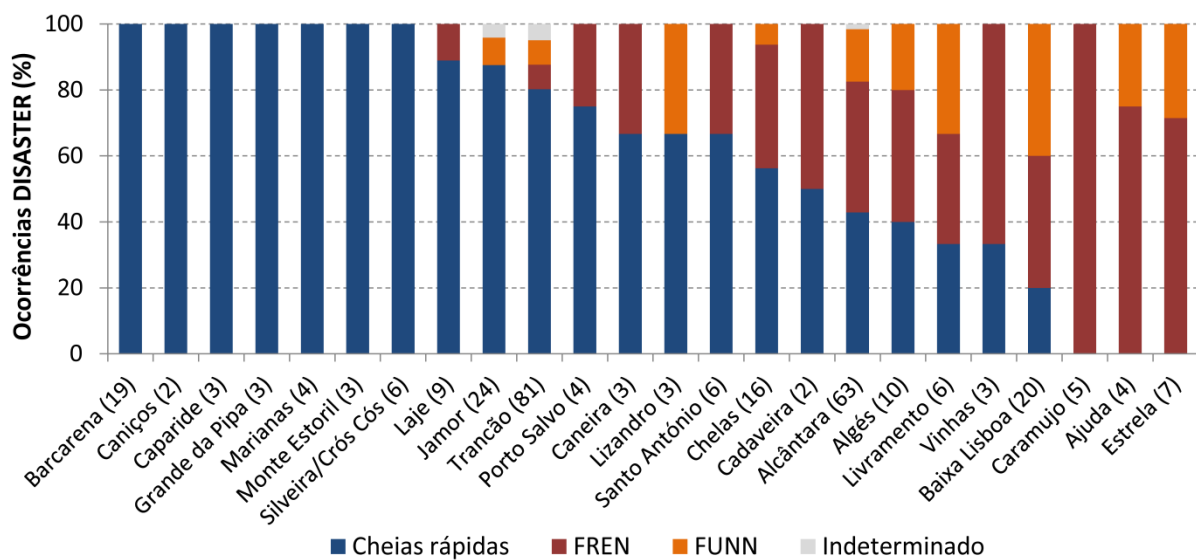


Figura 4.29 Distribuição (%) das ocorrências DISASTER resultantes dos vários tipos de inundações por bacia hidrográfica na AML (1865-2010).

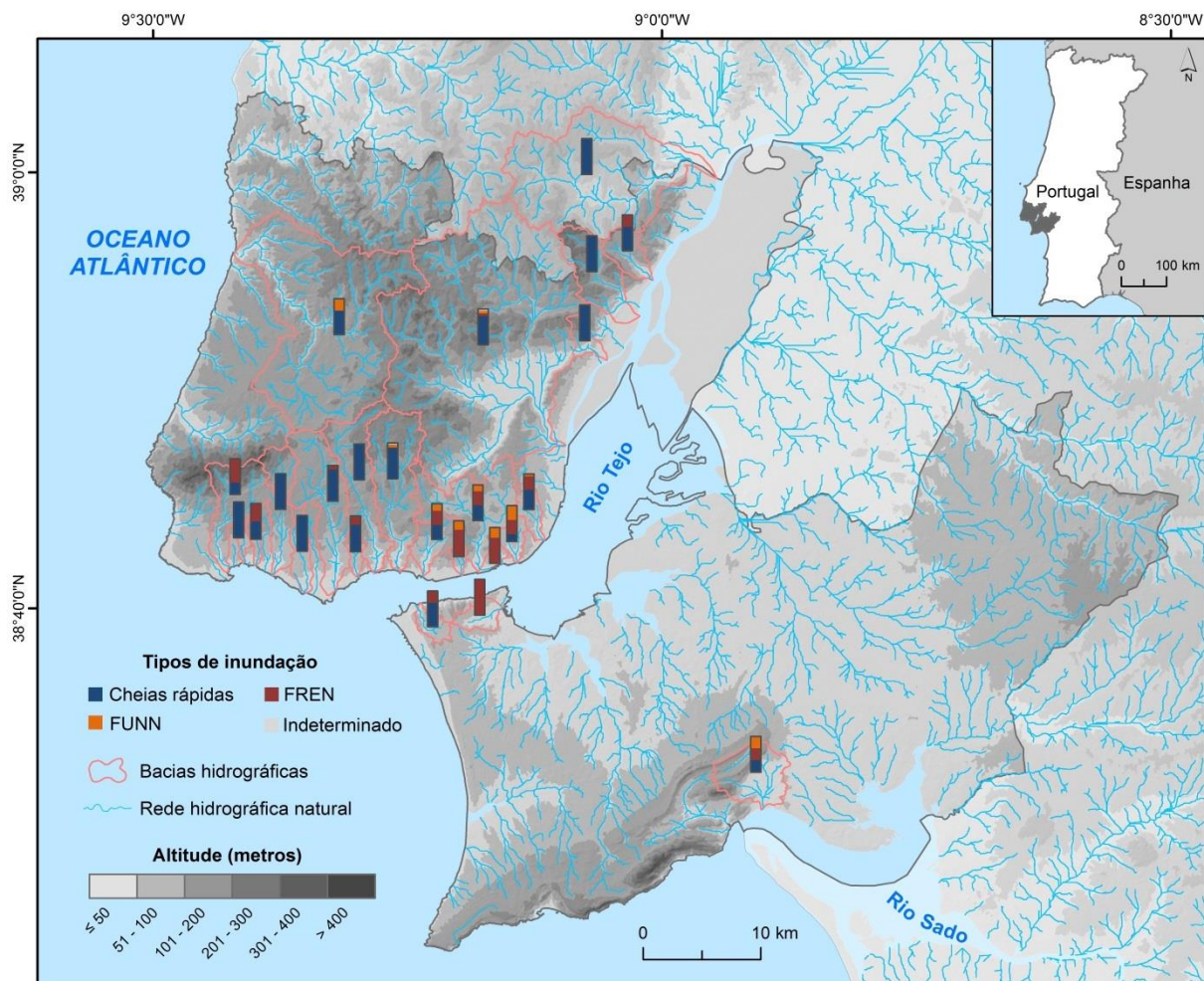


Figura 4.30 Distribuição espacial das ocorrências DISASTER resultantes dos vários tipos de inundações por bacia hidrográfica na AML (1865-2010).

Nas bacias do Livramento, Vinhas, Baixa Lisboa, Caramujo, Ajuda e Estrela as inundações urbanas (FREN e/ou FUNN) foram predominantes durante o período estudado, sendo exclusivas nas últimas três (figura 4.29). No caso específico das FREN aí registadas existem duas situações distintas em função da(s) bacia(s) em causa. As linhas de água existentes na Baixa e nas áreas mais antigas da cidade de Lisboa foram aterradas ou canalizadas subterraneamente antes das décadas de 40, 50 e 60 do século XX, o que fez com que tenha havido FREN no período 1865-1930. São os casos das bacias da Estrela, Ajuda e Baixa Lisboa (figuras 4.26a e 4.29). O segundo grupo de bacias, cuja canalização subterrânea dos cursos de água ocorreu durante as três décadas referidas, engloba Livramento, Vinhas e Caramujo (figura 4.29), embora, nesta última, a canalização subterrânea dos últimos 400/500 metros da ribeira tenha sido realizada antes da década de 40. No Caramujo não houve registo de ocorrências DISASTER ligadas a cheias rápidas antes da canalização da linha de água e, por isso, esta é a única bacia da AML em que as respectivas ocorrências DISASTER foram todas geradas pelas FREN (figura 4.29). Na baixa de Setúbal (Livramento) e de Cascais (Vinhas), existiram cheias rápidas com danos humanos antes da canalização subterrânea dos cursos de água (figura 4.26a) e FREN depois da sua canalização (figura 4.26c), provando que essa intervenção estrutural não fez desaparecer os danos humanos ligados a inundações. Curiosamente, no período com maior número de ocorrências DISASTER, não houve registo de ocorrências com danos humanos nos dois locais (figura 4.26b). Com excepção das bacias do Livramento e das Vinhas, também pelas suas especificidades das suas baixas, foram as bacias de Lisboa e as que estão mais próximas da capital em que a relevância das FREN e/ou FUNN mais se notou (figura 4.30). Já as bacias dos municípios dos arredores foram, sobretudo, afectadas pelas cheias rápidas durante o período 1865-2010.

SÍNTESE DO CAPÍTULO 4

Os danos humanos resultantes de cheias/inundações na AML para o período 1865-2010 foram estimados através da base de dados DISASTER, elaborada a partir dos jornais para Portugal continental. A AML registou 24% das ocorrências DISASTER, 54% das mortes, 26% dos evacuados, 15% dos desalojados e 18% dos afectados registados em Portugal continental. Nesta NUTS II contabilizaram-se 131 eventos DISASTER, 396 ocorrências DISASTER, 544 mortes, 3428 evacuados, 5973 desalojados. No total, foram afectadas 9945 pessoas durante o período estudado.

Os três eventos extremos de precipitação (1967, 1983 e 2008) que afectaram a AML durante o período 1865-2010 tiveram um grande impacte na base de dados DISASTER, pois foram responsáveis por 101 ocorrências DISASTER (26% do total), 469 mortes (86% do total) e 5022 afectados (51% do total). A conjugação entre um episódio de precipitação torrencial, os erros de ordenamento do território e as deficientes condições das habitações em algumas áreas da AML, fizeram do evento de 1967 aquele que mais mortes causou em Portugal a seguir ao sismo/*tsunami* de 1755. Através dos jornais foram contabilizadas 449 mortes, embora se estime que os números tenham atingido as 700 mortes. O evento de 1983 foi, sobretudo, relevante pela quantidade de desalojados que gerou (3227), uma vez que o número de mortes (17) foi muito menor do que em 1967. O evento de 2008 foi o menos importante dos três no que diz respeito aos danos humanos. Esta tendência de decréscimo nas consequências humanas, e em especial nas mortes, enquadram a AML no padrão comportamental dos países desenvolvidos aquando da ocorrência de cheias/inundações.

Entre 1865 e 2010, a evolução temporal dos danos humanos não foi constante. Não se constatou também qualquer tendência estatisticamente significativa nem na quantidade de ocorrências DISASTER, nem nas precipitações intensas. Foram identificados três períodos no que diz respeito ao número de ocorrências DISASTER: 1865-1930, 1931-1970 e 1971-2010. O segundo período foi o que registou números mais elevados (55% das ocorrências DISASTER). Este coincidiu com o aumento da exposição e vulnerabilidade às cheias/inundações, fruto do incremento da população e da má qualidade de muitas habitações, e incluiu o evento extremo de 1967.

A posterior redução dos danos humanos, ao longo do terceiro período, esteve relacionada com a diminuição da vulnerabilidade a estes fenómenos naturais, mas também com a perda de importância das cheias rápidas na AML durante as últimas décadas. Este é o mais perigoso dos tipos de inundação e foi o mais relevante na AML no período 1865-2010, contabilizando 51% das ocorrências DISASTER e 61% das mortes. Com a progressiva canalização subterrânea de muitos cursos de água nas áreas mais periféricas de Lisboa, e noutros municípios como Oeiras, Cascais, Loures ou Setúbal, durante as décadas de 40, 50 e 60, as cheias rápidas foram sendo substituídas

pelas FREN. Este tipo de inundação começou, por isso, a ser mais frequente na AML a partir de meados do século XX, embora não tenha a capacidade destruidora das cheias rápidas, o que favoreceu a diminuição das consequências humanas. Mesmo assim, as FREN totalizaram 23% das ocorrências DISASTER no período 1865-2010, tornando-se mais importantes do que as cheias progressivas e as FUNN.

A distribuição espacial das ocorrências DISASTER revelou a predominância da AML Norte (94%), com Lisboa (134 ocorrências DISASTER) a ser o concelho com maior destaque, seguido de Vila Franca de Xira (54), Loures (48) e Oeiras (43). Tal não significou que os danos humanos tenham sido maiores em Lisboa. Até pelo tipo de inundações aí verificadas, maioritariamente FREN e FUNN, foi registado um número superior de mortes e de pessoas afectadas em Vila Franca de Xira, Loures e Odivelas, municípios em que as cheias rápidas foram dominantes. Tendo em conta o peso deste tipo de inundação nas mortes registadas, para as quais muito contribuíram as cheias rápidas no evento de 1967, as bacias hidrográficas do rio Trancão (Loures e Odivelas) e do rio Grande da Pipa (Vila Franca de Xira) foram as mais relevantes. Refira-se ainda que a distribuição espacial dos danos materiais na AML esteve directamente dependente dos principais cursos de água, onde se formaram alinhamentos de ocorrências DISASTER ao longo dos seus fundos de vale.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - CAPÍTULO 4

- Azevêdo, T.M., Nunes, E., Ramos, C., 2004. Some morphological aspects and hydrological characterization of the Tagus floods in the Santarém Region, Portugal. *Nat. Hazards* 31, 587–601. doi:10.1023/B:NHAZ.0000024892.61336.ec
- Barnolas, M., Llasat, M.C., 2007. A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 7, 271–281. doi:10.5194/nhess-7-271-2007
- Barrera, A., Llasat, M.C., Barriendos, M., 2006. Estimation of extreme flash flood evolution in Barcelona County from 1351 to 2005. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 6, 505–518. doi:10.5194/nhess-6-505-2006
- Becker, J.S., Taylor, H.L., Doody, B.J., Wright, K.C., Gruntfest, E., Webber, D., 2015. A Review of People's Behavior in and around Floodwater. *Weather. Clim. Soc.* 7, 321–332. doi:10.1175/WCAS-D-14-00030.1
- Jonkman, S.N., Kelman, I., 2005. An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disaster* 29, 75–97. doi:doi.org/10.1111/j.0361-3666.2005.00275.x
- Leal, M., 2013. A importância das condições de humidade do solo na repartição intra-anual dos eventos danosos de cheia: o caso da Área Metropolitana de Lisboa, in: VI Congresso Nacional de Geomorfologia. Coimbra, pp. 37–40.
- Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Petrucci, O., Pasqua, A.A., Rosselló, J., Vinet, F., Boissier, L., 2013. Towards a database on societal impact of Mediterranean floods within the framework of the HYMEX project. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 1337–1350. doi:10.5194/nhess-13-1337-2013
- Pereira, S., Zêzere, J.L., Quaresma, I., Santos, P.P., Santos, M., 2016. Mortality patterns of hydro-geomorphologic disasters. *Risk Anal.* 36, 22. doi:10.1111/risa.12516
- Pereira, S., Diakakis, M., Deligiannakis, G., Zêzere, J.L., 2017. Comparing flood mortality in Portugal and Greece (Western and Eastern Mediterranean). *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 22, 147–157. doi:10.1016/j.ijdrr.2017.03.007
- Ramos, C., Reis, E., 2001. As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas. *Finisterra* 36, 61–82. doi:10.18055/Finis1648
- Ramos, C., Reis, E., 2002. Floods in Southern Portugal: Their Physical and Human Causes. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 7, 267–284. doi:https://doi.org/10.1023/A:1024475529524
- Saraiva, M.G., 1995. O Rio como Paisagem. Gestão de Corredores Fluviais no Quadro do Ordenamento do Território. Tese de Doutoramento em Arquitectura Paisagista, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Trigo, R.M., Ramos, C., Pereira, S.S., Ramos, A.M., Zêzere, J.L., Liberato, M.L.R., 2016. The deadliest storm of the 20th century striking Portugal: Flood impacts and atmospheric circulation. *J. Hydrol.* 541, 597–610. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.10.036
- Zêzere, J.L., Pereira, S., Tavares, A.O., Bateira, C., Trigo, R.M., Quaresma, I., Santos, P.P., Santos, M., Verde, J., 2014. DISASTER: A GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Nat. Hazards* 72, 503–532. doi:10.1007/s11069-013-1018-y

CAPÍTULO 5

DANOS MATERIAIS DAS CHEIAS E INUNDAÇÕES (2000-2011) NA AML

O capítulo 5 desta dissertação dá seguimento ao capítulo anterior no que diz respeito às consequências das cheias e inundações, avaliando desta vez os danos materiais na AML no período 2000-2011. Trata-se de uma realidade distinta da analisada anteriormente, por diversas razões. Em primeiro lugar, os danos materiais serão sempre menos graves do que os danos humanos, sendo aferidos a partir dos dados das seguradoras. Por outro lado, retrata-se apenas a situação existente no início do século XXI, resultado da crescente expansão das áreas urbanas, do desaparecimento da superfície de muitos dos cursos de água e do enorme crescimento populacional verificados na AML durante as décadas anteriores.

Neste capítulo procura-se demonstrar quais são as áreas da AML mais afectadas e quais os tipos de inundações mais relevantes na actualidade. Um dos objectivos passa por quantificar (em euros) os danos materiais causados por estes fenómenos naturais, fazendo a associação aos tipos de inundações identificados. Procura-se igualmente estabelecer relações entre os danos materiais, a precipitação e a ocupação do solo, tentando compreender de que forma estas variáveis se associam. Destaca-se, por fim, o evento extremo de precipitação ocorrido a 18 de Fevereiro de 2008, avaliando a importância dos danos materiais dele resultantes no contexto do período estudado (2000-2011).

5.1. RECOLHA E TRATAMENTO DE INFORMAÇÃO

5.1.1. Dados de precipitação

Os dados de precipitação foram utilizados neste capítulo, à semelhança do que aconteceu no anterior, como auxiliar da base de dados utilizada, neste caso a da Associação Portuguesa de Seguradores (APS). Foram recolhidos registos anuais, diários e horários de algumas estações meteorológicas localizadas na AML ou próximo dos seus limites. A sua utilização teve diferentes objectivos e, por isso, a amostra de estações a que se recorreu é também distinta.

Os dados anuais pertencem à estação de São Julião do Tojal (SJT) que, como já foi mencionado, foi usada nesta dissertação como estação de referência para a AML. Estes registos foram recolhidos para os anos hidrológicos de 2000/01 a 2010/11, sendo utilizados com um objectivo muito específico: estabelecer uma relação entre a precipitação e o número anual de eventos de cheia/inundação.

Foram recolhidos dados diários de precipitação de 23 estações meteorológicas (figura 5.1 e tabela 5.1). Os valores da estação da Comporta (localizada fora dos limites da AML) foram utilizados devido à escassez de estações com dados em quantidade e qualidade na AML Sul. Estes dados foram utilizados para validar os dados das seguradoras, tal como será explicado no ponto 5.1.2. Note-se que os registos diários das estações meteorológicas da rede do SNIRH referem-se ao período entre as 09h de um dia e as 09h do dia seguinte, ao contrário do que deveria suceder (período entre as 00h e as 00h). Isto significa que a precipitação ocorrida num dia se reparte por dois registos, o que dificulta a comparação com outras estações (como, por exemplo, da rede do IPMA) e, por vezes, a conexão com as datas dos dados das seguradoras.

De modo a obter a representação espacial da precipitação que desencadeou o evento extremo de 18 de Fevereiro 2008 (figura 2.11) foram utilizados os dados horários das 42 estações meteorológicas já utilizadas no capítulo 2 (figura 2.2 e tabela 2.3).

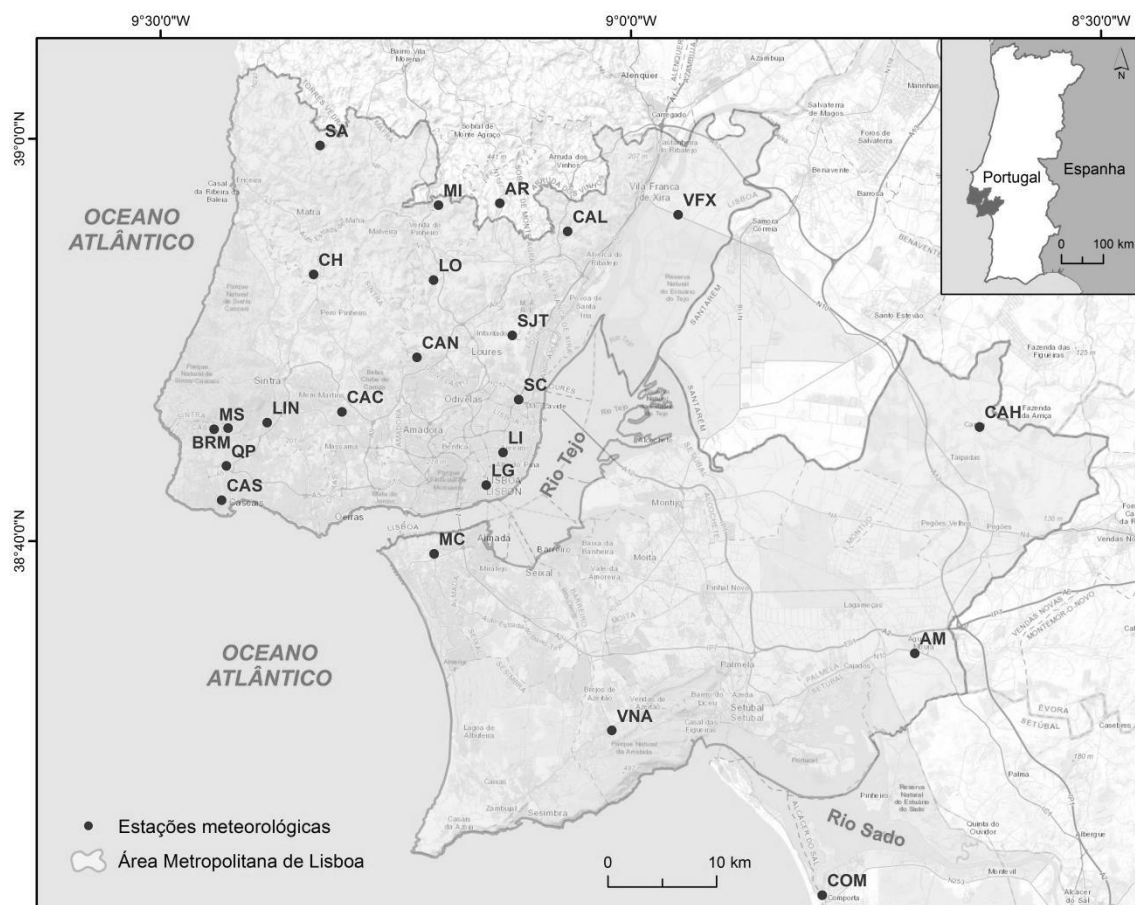


Figura 5.1 Localização das estações meteorológicas utilizadas para validar os dados das seguradoras.

Tabela 5.1 Características das estações meteorológicas utilizadas para validar os dados das seguradoras.

Código (figura 5.1)	Estações meteorológicas	Altitude (metros)	Data de início	Data de fim	Número de registos (dados diários)	Dias com registos (%)
AM	Águas de Moura	17	26-11-1931	Activa	27 958	91,5
AR	Arranhó	204	01-10-1980	Activa	11 436	87,6
BRM	Barragem Rio da Mula	155	01-10-1989	Activa	7279	76,5
CAC	Cacém	173	01-10-1979	Activa	10 763	81,2
CAL	Calhandriz	138	01-10-1980	Activa	9388	73,7
CAN	Caneças	277	01-10-1980	Activa	11 731	89,9
CAH	Canha	52	01-11-1931	Activa	29 133	94,2
CAS	Cascais	50	01-07-1989	Activa	3736	37,9
CH	Cheleiros	120	01-01-1979	Activa	10 342	76,6
COM	Comporta	2	01-01-1934	Activa	22 892	76,4
LIN	Linhó	199	01-10-1989	Activa	6550	68,2
LG	Lisboa/Geofísico	77	01-10-1941	Activa	25 536	100
LI	Lisboa/INAG	52	13-01-2005	20-05-2009	1155	72,7
LO	Lousa	157	01-10-1979	Activa	8453	70,0
MS	Malveira da Serra	334	11-10-2004	09-07-2016	3602	84,0
MI	Milharado	195	01-10-1980	Activa	10 096	94,5
MC	Monte da Caparica	96	01-05-1985	Activa	8456	74,3
QP	Quinta do Pisão	89	01-10-1980	30-09-2002	7943	98,9
SC	Sacavém de Cima	46	01-10-1980	30-09-2002	8035	100
SJT	São Julião do Tojal	6	10-01-1955	Activa	21 018	98,7
SA	Sobral da Abelheira	120	01-10-1979	Activa	11 771	89,1
VFX	Vila Franca de Xira (Lezíria)	1	05-09-1957	Activa	19 570	91,5
VNA	Vila Nogueira de Azeitão	126	27-10-1931	Activa	30 822	99,7

5.1.2. Base de dados APS e procedimentos metodológicos

Os danos materiais resultantes de cheias/inundações na AML foram obtidos através da base de dados APS, que compila registos de seguradoras de Janeiro de 2000 a Outubro de 2011 em Portugal. Nela estão incluídos cerca de 60% do universo nacional de apólices de seguro. Refira-se que nesta base de dados estão apenas incluídos registos relacionados com cheias/inundações, contudo, as apólices são referentes a seguros multirriscos, ou seja, cobrem diversos tipos de fenómenos naturais, entre outras situações (exemplo: roubos). Não são, igualmente, consideradas as apólices de seguros agrícolas.

Cada registo presente na base de dados representa uma situação específica de cheia/inundação, sendo designada como sinistro APS. Para cada um deles existe informação sobre: 1) data de comunicação (data em que o sinistro APS é reportado à companhia de seguros); 2) localização baseada no código postal (contém quatro ou sete dígitos); 3) capital afectado; e 4) indemnizações. A relação entre indemnizações e o capital afectado é designada por perdas e é calculada para cada sinistro APS. Esta é expressa em percentagem, mas, como os valores globais são baixos, os resultados totais são expressos em ‰. Também o ano de construção e a função dos edifícios afectados está presente na base de dados APS, no entanto, optou-se por não se utilizar esta informação porque existem demasiados erros associados. A APS forneceu ainda o número de apólices e o respectivo capital segurado por código postal (4 dígitos). Os conceitos aqui referidos são explicados na tabela 5.2.

Tabela 5.2 Conceitos utilizados para a base de dados APS e respectivas definições.

Conceito	Definição
Apólice de seguro	Documento que formaliza o contrato celebrado entre a companhia de seguros e o tomador do seguro. A apólice de seguro inclui as condições acordadas entre as partes. A cobertura das cheias/inundações não é comercializada isoladamente pelas seguradoras, estando estas incluídas nas apólices de seguros multirriscos.
Capital segurado	Montante coberto pela apólice de seguro referente às paredes (estrutura) e/ou conteúdos (recheio) da propriedade segurada. Pode incluir eventuais perdas de exploração no caso de se tratar de um espaço comercial ou industrial.
Sinistro APS	Activação do seguro feita pelo tomador quando ocorre uma cheia/inundação que afecta a sua propriedade.
Capital afectado	Capital segurado na apólice de seguro quando um sinistro APS é reportado. A base de dados APS considera que, quando um local é inundado e é accionado o seguro, todo o capital segurado desse espaço torna-se capital afectado, logo, o montante do capital afectado é igual ao do capital segurado.
Indemnização	Valor pago pela companhia de seguros ao tomador quando um sinistro APS é reportado. O montante máximo é igual ao valor do capital afectado.
Perdas	Relação entre as indemnizações pagas e o capital afectado. Quando a perda é igual a 100% significa que a companhia de seguros pagou o montante segurado que consta na apólice de seguro.

A base de dados da APS não possui informação acerca da causa da inundação, estando nela incluídos sinistros APS causados por precipitação, inundações costeiras ou quando existem rebentamentos de canos (dentro dos edifícios) ou condutas (na via pública). Este não é um problema exclusivo da base de dados APS, pois, as companhias de seguros, por norma, não avaliam a causa dos sinistros, nem registam informações detalhadas sobre a situação que lhes deu origem (Bernet *et al.*, 2017). Assim, foi necessário determinar quais dos sinistros APS foram desencadeados por precipitação (75% do total da base de dados na AML). Para tal, recorreu-se à informação relatada em quatro jornais diários (Diário de Notícias, Expresso, Jornal de Notícias e Público). 80% dos sinistros APS relacionados com precipitação na AML foram detectados através da informação presente nos jornais.

Tal como referido no ponto 5.1.1, foram utilizados os registos diários das estações meteorológicas enunciadas na tabela 5.1, pois existem diversos sinistros APS reportados em datas em que se registaram valores elevados de precipitação. 20% dos sinistros APS na AML foram identificados com recurso aos dados de precipitação diária. Estes correspondem a situações com consequências menores, caso contrário teriam sido referidos nos jornais. Deste modo, se foi registado um valor diário igual ou superior a 20 mm em pelo menos uma das estações meteorológicas utilizadas, e houver dois ou mais sinistros APS na mesma data e em locais diferentes, considera-se que esses sinistros foram desencadeados por precipitação. A opção pela utilização de dois ou mais sinistros APS justifica-se para evitar coincidências temporais, já que um sinistro isolado pode ter tido outra causa que não a precipitação. O valor diário de 20 mm é ligeiramente superior ao do percentil 90 (18,3 mm/dia) das estações (12) com mais de 30 anos de dados diários de precipitação. Refira-se que os registos da base de dados da APS não relacionados com precipitação, deslocados, duplicados ou com dados em falta foram eliminados.

Nesta base de dados, a data da comunicação do sinistro pode não ser coincidente com a data em que a inundação ocorreu. A APS estima que o tempo médio entre a data do sinistro e a data de comunicação seja de cinco dias úteis. Desta forma, um sinistro APS é considerado quando ocorre até cinco dias úteis depois da precipitação desencadeante. A data em que esta ocorreu é determinada através da informação dos jornais ou dos registos das estações meteorológicas utilizadas. Importa referir que a discordância entre as datas de ocorrência e de comunicação pode não permitir identificar com segurança absoluta a causa de alguns dos sinistros APS, resultando numa avaliação por excesso do número de sinistros APS desencadeados por precipitação. Todavia, a utilização dos jornais e dos registos diários de precipitação permite reduzir a incerteza associada.

O critério utilizado para definir os eventos de inundação APS é semelhante ao utilizado para os eventos DISASTER, mas, neste caso, para um evento ser considerado tem de existir no mínimo um (quando o evento é identificado através dos jornais – 48% do total de eventos APS) ou dois sinistros

APS causados por precipitação (quando o evento é identificado através das estações meteorológicas – 52% do total de eventos APS). Quanto à duração, podem existir eventos que se estendem por mais de um dia, quando ocorrem dias consecutivos de precipitação. Quando um evento APS é identificado através dos jornais, este termina quando há um dia sem notícias de inundações/cheias reportadas. Quando estes são identificados através das estações meteorológicas, estes terminam quando nenhuma estação atinge os 20 mm diários. Nos casos em que dois eventos APS estão separados por menos de cinco dias úteis, existem sinistros APS que podem pertencer a ambos. Nessas circunstâncias, utilizou-se como critério o número de sinistros por data e a sua evolução temporal. Ou seja, normalmente é maior o número de sinistros em que a data de comunicação é a mesma da data do evento APS, em comparação com os sinistros comunicados nos dias seguintes. Esse número tende a decrescer à medida que os dias vão passando. Em sequências de dias chuvosos, e quando o número de sinistros volta a aumentar, percebe-se que estes sinistros já foram desencadeados por um novo evento APS. Habitualmente, nestas sequências chuvosas, os dias em que se registaram precipitações mais elevadas também foram coincidentes com os dias com mais sinistros APS comunicados. Quando a situação descrita não se constata, optou-se por não se associar os sinistros APS em causa a nenhum evento. Isso sucede em menos de 5% do total de sinistros APS.

A informação sobre a localização dos sinistros APS baseia-se no código postal. Isto significa que apenas os sinistros APS com código postal com sete dígitos e cuja área não contemple mais do que um arruamento são passíveis de serem georreferenciados com elevada precisão (53% do total). Assim, todos os sinistros APS que preencheram estes requisitos de localização e que tenham sido desencadeados por precipitação foram georreferenciados em ambiente SIG, com auxílio do *Google Maps* e do *Google Earth*. O facto de nem todos os registos da base de dados APS possuírem uma localização precisa implica algumas restrições na sua utilização, sendo apenas possível utilizar a totalidade dos sinistros APS na análise por município. Na análise por código postal, pouco mais de 1% dos sinistros APS estão associados a códigos postais sem área representável (aqueles que não terminam em zero ou cinco) e, por isso, não são também eles representáveis. No que diz respeito à análise por bacia hidrográfica e à distribuição espacial (pontual), recorre-se apenas aos sinistros APS localizáveis.

Os sinistros APS localizáveis são igualmente utilizados na definição dos sectores/pontos críticos da AML. Estes correspondem a pequenas áreas (largos, praças ou pracetas) ou a sectores de arruamentos (ruas, avenidas ou estradas) que contabilizaram três ou mais sinistros APS em datas distintas no período 2000-2011. No caso dos arruamentos, apenas entram nesta contabilidade quando se verificarem três ou mais sinistros APS em códigos postais (com sete dígitos) que sejam contíguos. Em arruamentos de maior extensão e que incluem diversos códigos postais, quando existem três ou mais sinistros APS em dois códigos postais não contíguos, esses sectores foram

considerados como dois sectores/pontos distintos. Daqui pode resultar que a mesma rua/avenida pode ter mais do que um sector/ponto crítico. Foi assim considerado porque os factores locais que influenciam a ocorrência de uma cheia/inundação nos dois sectores podem ser diferentes. A opção por um mínimo de três sinistros APS em datas diferentes, foi tomada para enfatizar os locais em que existem cheias/inundações com frequência e que sejam, verdadeiramente, sectores/pontos críticos.

5.1.3. Ocupação do solo, edificado e população

As áreas edificadas foram extraídas da COS 2007, algo que está relacionado com a duração da base de dados da APS. Deste modo, e apesar de não se verificarem diferenças significativas, considerou-se que a informação da ocupação do solo de 2007 é mais representativa do período que decorre entre 2000 e 2011, do que a de 2010. Quanto ao número de edifícios, alojamentos e habitantes foram obtidos através dos Censos 2011.

5.1.4. Associação entre dados das seguradoras, precipitação, edificado e população

A relação entre os dados das seguradoras e a precipitação no período 2000-2011 foi, numa primeira fase, estabelecida por evento APS, de modo a determinar se valores de precipitação elevados causam, obrigatoriamente, danos materiais elevados. Ainda que a quantidade de sinistros APS e o valor das indemnizações pagas por evento esteja dependente de múltiplos factores para além da precipitação, considerou-se que se justificava uma análise aprofundada. Em primeiro lugar, testaram-se e compararam-se os resultados de diversos indicadores a partir da base de dados da APS e dos registos de precipitação nas diversas estações utilizadas para a AML. Através dos dados horários da estação de SJT procurou-se perceber se a duração da precipitação influencia a relação entre os quantitativos de precipitação e a quantidade de sinistros APS em cada evento. Para tal, estabeleceram-se associações entre os valores de precipitação para várias durações (1, 3, 6, 12, 24 horas) e o número de sinistros APS localizados num raio de 10 km da estação de SJT, área de influência obtida após testadas várias distâncias. Maiores distâncias geraram relações mais fracas porque os eventos de precipitação convectiva geram grandes discrepâncias espaciais na intensidade da precipitação. Sabe-se também que 10 km representam a dimensão máxima expectável de uma célula convectiva (Goudenhoofdt e Delobbe, 2013). Numa última fase, procurou-se compreender se é possível determinar um valor de precipitação horária a partir do qual começaram a ocorrer sinistros APS. Foi verificado se a data de cada registo de precipitação horária igual ou superior a 5 mm coincidia com a data de algum evento APS. Quando existia uma coincidência, foi considerado que esse valor de precipitação esteve relacionado com pelo menos um sinistro APS. Se não existisse qualquer coincidência temporal, isso significa que esse valor de precipitação não foi capaz de gerar

um sinistro APS. Para evitar a duplicação de resultados, para cada evento APS só foi considerado o valor horário mais elevado de cada evento de precipitação.

Para estabelecer uma relação entre os dados de precipitação e das seguradoras para o evento de 2008, foram testadas, para a precipitação máxima, as quatro durações disponíveis (1, 3, 6 e 24 horas) e diversas variáveis relativas aos seguros (sinistros APS/km², sinistros APS/km² edificado, indemnizações/km², indemnizações/km² edificado e perdas). Os municípios da AML foram utilizados para efectuar esta análise, de modo a garantir que todas as unidades administrativas/geográficas registassem pelo menos um sinistro APS durante o evento de 2008. Para obter os valores de precipitação para cada município foram testados três métodos. O primeiro resulta da média dos valores máximos de precipitação registados nas estações meteorológicas que se localizam dentro ou próximo dos limites do concelho, sendo designado como método das estações de referência. As outras duas metodologias recorrem a uma representação espacial da precipitação obtida através do *kriging* ordinário (utilizada na figura 2.11), já que apresentou os resultados que, em termos visuais, mais se aproximaram da realidade e cujo erro médio quadrático foi o menor de todos os modelos testados. Posteriormente, a distribuição espacial da precipitação gerada é convertida em estrutura *raster* com uma malha de 10x10 metros, o que permite atribuir a cada célula de 100 m² um valor de precipitação. A partir desse ponto, as duas metodologias empregadas utilizam critérios diferentes. O segundo método é designado como método da média ponderada, dado que o resultado obtido para cada município da AML resulta da média ponderada do valor de precipitação associado a cada célula localizada dentro dos limites dos concelhos. O terceiro método resulta da média dos valores de precipitação gerados para as células onde os sinistros APS (localizáveis) ocorreram, e, por isso, é designado como método da localização dos sinistros APS.

As relações entre os registos da base de dados APS, áreas edificadas, edifícios, alojamentos e população foram definidas com base em regressões lineares e não lineares (logarítmicas) e nos respectivos coeficientes de correlação e determinação. Também aqui os municípios da AML foram escolhidos como unidade de análise.

5.1.5. Associação entre tipos de inundações e sinistros APS

À semelhança do que foi feito para a base de dados DISASTER, os sinistros APS foram classificados em função do tipo de inundação que os causou. Todavia, e em comparação com as ocorrências DISASTER, a definição do tipo de inundação de cada sinistro APS baseou-se, em exclusivo, na sua localização, o que implica que a georreferenciação dos sinistros APS seja o mais precisa possível. Sendo a localização a única informação disponível para a determinação do tipo de inundação dos sinistros APS, a reconstrução da rede de drenagem natural da AML tornou-se

fundamental. Por outro lado, e tendo em conta o período da base de dados APS (2000-2011), as datas da canalização subterrânea dos cursos de água não são relevantes, pois não se verificaram alterações significativas na rede de drenagem desde o início do século XXI. Como tal, o tipo de inundação que afecta um mesmo local não se altera ao longo do tempo. Neste âmbito, foi apenas necessário saber quais as linhas de água/sectores que se encontram canalizados ou aterrados actualmente.

Neste contexto, foram utilizados apenas os registos com códigos postais com sete dígitos e, por isso, não existem sinistros APS com tipo de inundação indeterminado. Porém, os códigos postais com sete dígitos não garantem uma localização exacta, mas sim muito aproximada, sendo esta tanto mais aproximada quanto maior for a densidade de alojamentos. Isto explica-se porque o mesmo número residências está concentrado num espaço menor, devido à construção em altura. Note-se que a área de um código de postal com sete dígitos pode variar entre alguns números de porta num dos lados de um arruamento, até diversos arruamentos (como já foi referido, os sinistros APS com códigos postais referentes a várias ruas não são utilizados no tipo de análise que necessita de uma localização precisa). Assim, determinar com segurança qual o tipo de inundação que deu origem a um determinado sinistro APS é uma tarefa que exige algum cuidado.

Apesar da importância da localização, em alguns casos não subsistem dúvidas quanto ao tipo de inundação que deu origem a um sinistro APS, mesmo sem se conhecer a sua localização exacta: 1) nos códigos postais em que não existem fundos de vale, os edifícios aí construídos são sempre afectados por FUNN e nunca por outro tipo de inundação; e 2) quando toda a extensão de um código postal se encontra num fundo de vale, por onde passa (canalizado subterraneamente) ou passou uma linha de água, então esses edifícios só podem ser afectados por FREN.

Quando existe a certeza sobre qual o tipo de inundação que causou um determinado sinistro APS, é possível refinar a sua localização de modo a que a sua georreferenciação coincida com um local onde é mais provável que essa inundação ocorra. Nos sinistros APS causados por FUNN, procurou-se que estes fossem georreferenciados em áreas onde há acumulação de escoamento superficial: locais de fraco declive ou com obstáculos ao escoamento. Por outro lado, como o relevo e os antigos leitos de cheia são determinantes no actual comportamento do escoamento superficial em meio urbano, a água tende a encaminhar-se e a concentrar-se nos antigos fundos de vale, desencadeando FREN. Deste modo, seguindo o princípio da probabilidade, sempre que existam sinistros APS num código de postal que pode ser afectado por FREN e FUNN, esses sinistros foram georreferenciados na parte afectada por FREN. No entanto, há que dizer que os arruamentos em que uma parte pode ser afectada por FREN e outra por FUNN são pouco frequentes. Isto explica-se porque as ruas são, por norma, construídas segundo a mesma orientação das linhas de água

entretanto canalizadas subterraneamente, ou seja, ao longo dos fundos de vale e, raramente, de forma transversal.

Ainda assim, reconhece-se que esta opção metodológica pode levantar duas questões interligadas: a área de influência/inundável de um curso de água canalizado subterraneamente será a mesma de quando escoava à superfície? E como se delimita esta área? A resposta à primeira pergunta é não, pois existe sempre uma parte substancial do escoamento que escoava através do colector e, como tal, nunca surge à superfície. Isto significa que o volume de água “visível”, à partida, não será tão elevado. Isto apesar da tendência de incremento das superfícies impermeáveis das bacias hidrográficas numa área metropolitana, aumentando, por sua vez, o volume do escoamento. Ora, se a quantidade de água à superfície é menor, também a forma como a água se distribui ao longo dos fundos de vale é distinta, estando o escoamento superficial (não capturado para a rede de drenagem subterrânea) por norma condicionado à distância entre os edifícios de ambos os lados dos arruamentos.

A resposta à segunda pergunta assenta em dois critérios. O primeiro é a existência de aluviões. Embora a sua deposição tenha ocorrido quando os cursos de água escoavam à superfície, a classificação dos tipos de inundação adoptada baseia-se nas características físicas do sistema fluvial. Deste modo, a presença de aluviões é o critério principal para delimitar a área de influência de um curso de água, mesmo que canalizado subterraneamente, representando a área de influência das FREN. Quando as aluviões não existem, ou não estão representadas nos mapas geológicos, utilizam-se os fundos de vale como segundo critério. Em áreas densamente urbanizadas, a sua definição baseia-se, por um lado, na constatação de que os arruamentos afectados por FREN foram construídos com a mesma orientação das linhas de água. Por outro lado, resulta também do condicionamento imposto pela malha urbana, abordado no final do parágrafo anterior. Isto implica que a parte do escoamento superficial que não for desviada para a rede de drenagem artificial/subterrânea percorra uma espécie de labirinto criado pelos edifícios. Estes acabam por redefinir e delimitar a largura do fundo de vale. Tal só não sucede nos sectores terminais de algumas ribeiras, cujos fundos de vale (naturais) são mais largos, e, nesses casos, existem diversas ruas afectadas por FREN. As ruas da Baixa de Lisboa e de Setúbal são alguns dos poucos exemplos desta realidade na AML. Tendo em conta o que foi referido, considerou-se que a largura dos fundos de vale em que existem cursos de água canalizados subterraneamente ou enterrados corresponde à largura dos arruamentos. A utilização das aluviões e da largura dos arruamentos como *proxy* para a área de influência/inundável das FREN pode acarretar alguma incerteza, porém, a natureza da classificação das inundações urbanas empregue, baseada nas características físicas do território, e a dimensão da escala de análise considerada (AML) justificam a opção tomada.

A identificação dos sinistros APS causados por cheias rápidas acarreta um grau de incerteza um pouco maior, sobretudo quando realizada a uma escala como a da AML e apenas através da localização. O critério adoptado para que um sinistro APS seja provocado por uma cheia rápida resulta do cruzamento entre a existência simultânea de um curso de água à superfície e de aluviões (presentes no mapa geológico) nesse local. No entanto, essa conjugação não implica que esse sinistro APS tenha, de facto, sido causado por uma cheia rápida, pois, a precipitação pode não ser suficiente para que o curso de água transborde do seu leito normal. Isso pode ocorrer, com alguma frequência, sobretudo em locais onde foram realizadas intervenções estruturais nas linhas de água: aprofundamento do canal, edificação de muros longitudinais ou construção de degraus de amortecimento do escoamento. Optou-se por não se introduzir critérios adicionais ou complementares na identificação dos sinistros APS desencadeados por cheias rápidas devido a diferentes limitações: 1) os registos hidrométricos são quase inexistentes na área de estudo; 2) nem sempre existem estações meteorológicas próximas dos locais dos sinistros APS; 3) mesmo quando isso se verifica, podem não existir dados horários e os registos diários (juntamente com os problemas na forma como os valores diários das estações da rede do SNIRH são registados) podem esconder a verdadeira realidade do evento de precipitação (por exemplo, é diferente ter 40 mm em 6 horas ou em 24 horas); e 4) a extensão da AML não permite efectuar a validação de campo em tempo útil de todos os sinistros APS. Do critério adoptado podem resultar sinistros APS coincidentes com aluviões e cursos de água à superfície que estão classificados como causados por cheias rápidas, e que, na verdade, podem ter sido desencadeados por FREN, tal como foi explicado no início da parte II desta dissertação. Refira-se que, a aplicação deste tipo de classificações a sinistros à escala da AML, e considerando as limitações nos dados, resulta sempre em alguma incerteza que não pode ser eliminada.

5.2. DANOS MATERIAIS (APS)

5.2.1. Resultados globais

Para a AML, constam na base de dados APS 781.515 apólices de seguros, nas quais está segurado um capital de 128.550.980.515 €. Estes valores correspondem a 28% e a 33% dos totais nacionais, respectivamente. Recorde-se que a base de dados da APS integra cerca de 60% do universo de apólices em Portugal. Por outro lado, e se forem considerados todos os registos da base de dados¹¹, na AML registaram-se 18% dos sinistros APS, 12% do capital afectado e 21% das indemnizações pagas, em relação ao total nacional.

¹¹ De modo a compreender a importância da AML no contexto português, foram utilizados todos os registos da base de dados da APS. Nesta dissertação são apenas utilizados os sinistros APS desencadeados por precipitação e, por isso, seria

De acordo com a base de dados APS, a AML registou 134 eventos de cheias/inundações (11 por ano) com danos materiais entre Janeiro de 2000 e Outubro de 2011. Esses eventos causaram 3676 sinistros APS desencadeados por precipitação (em média, 312 por ano e 27 por evento), o que significa que 0,5% dos espaços com seguro foram afectados por cheias/inundações durante o período analisado. O capital segurado nas apólices accionadas em resultado de cheias/inundações, isto é, o capital afectado, atingiu 9.898.256.607 € (8% do capital segurado). Daqui resultaram 13.410.434 € em indemnizações pagas pelas companhias de seguros. Em média, foram pagos 1.133.276 € por ano, 100.078 € por evento e 3648 € por sinistro APS. Em termos globais, o *ratio* entre indemnizações e capital afectado (perdas) é de 1,35‰. Constam na base de dados 367 sinistros APS (10% do total) em que não foram pagas quaisquer indemnizações aos proprietários. A forma como os conceitos utilizados se relacionam e os valores obtidos estão sintetizados na figura 5.2.

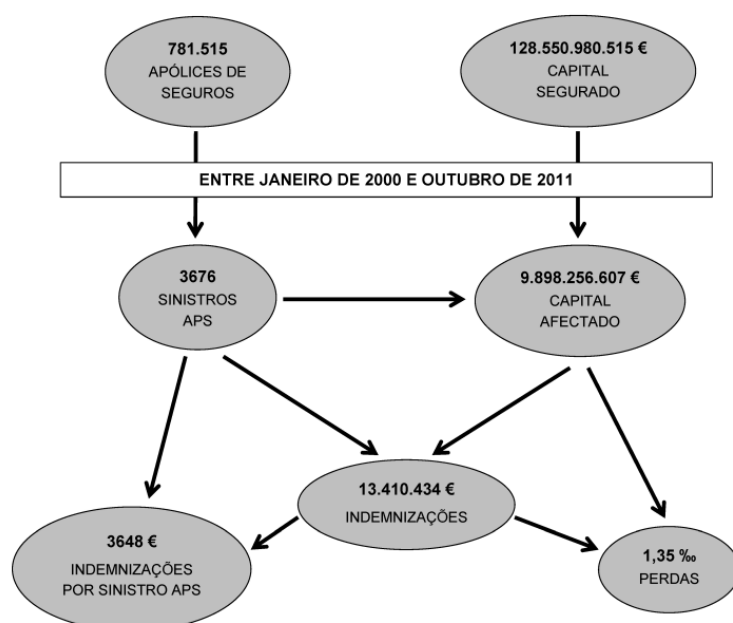


Figura 5.2 Modelo APS e valores registados para a AML (2000-2011).

Os números referidos acima correspondem apenas aos sinistros APS cujas cheias/inundações foram desencadeadas por precipitação, identificados através dos jornais e dos dados de precipitação de um conjunto de estações meteorológicas (tabela 5.1). Porém, e até para que se possa perceber a relevância dos sinistros APS causados por precipitação no contexto desta base de dados na AML, importa fazer uma referência aos restantes, provocados por outras situações (naturais ou antrópicas). Contabilizando todos os sinistros APS que constam na base de dados, independentemente da causa, o número atinge 4888 sinistros, o que significa que se estima que 75%

mais correcto estabelecer a comparação entre a AML e Portugal apenas com base nesses registos. No entanto, determinar a causa de cada sinistro APS para todo o País é uma tarefa inviável nestas circunstâncias.

(3676) tenham sido desencadeados por precipitação. No entanto, a sua importância relativa sobe para 88% no que diz respeito às indemnizações. Também a perda média (1,35% contra 0,44%) e a perda máxima (100% contra 41%) são superiores se os sinistros APS associados a precipitação forem comparados com os restantes. Constata-se que três em cada quatro sinistros APS tiveram a precipitação como causa e que são estes os que dão origem aos maiores danos materiais, ou seja, aos montantes mais elevados pagos pelas seguradoras.

5.2.1.1. Distribuição inter e intra-anual dos danos materiais e influência do evento extremo de 2008

Quase 12 anos de dados, compreendidos entre Janeiro de 2000 e Outubro de 2011, não são suficientes para determinar uma tendência de evolução temporal. No entanto, é importante determinar a distribuição inter e intra-anual dos danos materiais registados na base de dados APS, de modo a conhecer quais os anos e os meses com mais sinistros APS e com montantes pagos mais elevados. Devido à sua importância na base de dados, será dada especial importância ao evento extremo de precipitação de 18 de Fevereiro de 2008. Ao contrário da base de dados DISASTER, este evento teve um peso acentuado na base de dados APS. Contudo, quão diferentes terão sido os danos materiais resultantes deste evento quando comparados com os causados por outros eventos de menor magnitude? Para o evento de 2008, foram reportados 867 sinistros APS (24% do total) e as indemnizações atingiram 5.326.942 € (40% do total). Sem este evento o número médio de sinistros APS por evento desceria de 27 para 21 e as indemnizações diminuiriam de 100.078 € para 60.778 €. No segundo evento com mais sinistros APS ocorreram 81 sinistros (em Outubro de 2010) e no segundo evento com mais indemnizações pagas contabilizaram-se 262.218 € (em Setembro de 2001). Isto significa que o evento de 2008 teve cerca de 10 vezes mais sinistros APS do que o segundo evento mais relevante no que concerne ao número de sinistros APS e teve um montante pago pelas seguradoras cerca de 20 vezes mais elevado comparativamente ao segundo evento com mais indemnizações.

A repartição anual dos sinistros APS pode ser vista na figura 5.3a. Para além de 2008 (980 sinistros APS), os anos em que foram contabilizados mais sinistros APS foram 2010 (525) e 2006 (422). Em oposição, 2004 e 2005 foram os anos com menos sinistros APS, 77 e 89, respectivamente. 2008 foi um ano atípico, motivado pela existência de um evento extremo que, por si só, causou 867 sinistros APS (figura 5.3a). Em menos de um dia registaram-se mais 342 sinistros APS do que no segundo ano com maior valor total. Atente-se também que um evento de precipitação com duração de algumas horas causou mais sinistros APS do que os contabilizados ao longo dos quatro primeiros anos da base de dados (figura 5.3a).

O padrão anual no que respeita às indemnizações pagas foi semelhante ao dos sinistros APS, com os valores mais elevados (em 2008, 2010 e 2006) e mais reduzidos (em 2005 e 2004) a serem registados nos mesmos anos (figuras 5.3a e 5.3b). No entanto, a relevância do evento de 2008 foi ainda mais acentuada no âmbito das indemnizações. O montante pago em resultado deste evento (5.326.942 €) foi mais de três vezes superior ao valor pago durante o segundo ano mais dispendioso para as seguradoras na AML (1.568.307 € em 2010) (figura 5.3b). Numa outra perspectiva, as indemnizações durante os primeiros oito anos da base de dados (2000 a 2007) foram inferiores às despendidas em resultado do evento extremo de 2008. Caso este evento não tivesse acontecido, 2008 seria o terceiro ano com menor número de sinistros APS e valor de indemnizações (figuras 5.3a e 5.3b). Este ano estaria apenas à frente de 2004 e 2005, cujos valores reflectiram os baixos quantitativos de precipitação, numa época em que a maioria do território português se encontrou durante vários meses em situação de seca severa ou extrema.

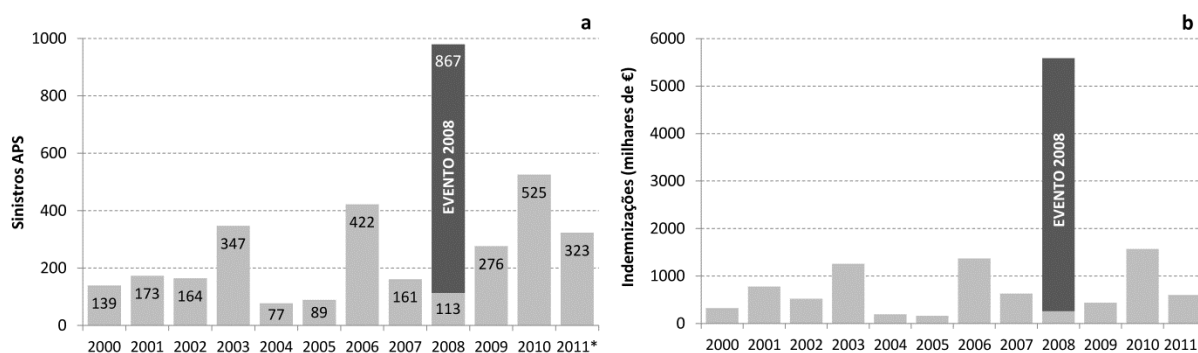


Figura 5.3 Número de sinistros APS (a) e indemnizações (b) por ano na AML (2000-2011).

* Em 2011, os sinistros APS e indemnizações dizem apenas respeito ao período Janeiro-Outubro.

A distribuição intra-anual dos sinistros APS revelou uma maior importância dos meses de Outono na AML, atingindo 39% do total, mesmo considerando a existência do evento de 2008 (figura 5.4a). Se o mesmo não fosse considerado esse valor subiria para 51%, passando Outubro a ser o mês mais representativo (624 sinistros APS), seguido de Novembro e Dezembro (436 e 359 sinistros APS, respectivamente) (figura 5.4a). Esta repartição pode ser explicada pela tendência crescente de uma elevada concentração da precipitação nos meses de Outono na região do Mediterrâneo (Ramos e Reis, 2002; Leal, 2011). Entre os anos hidrológicos de 1955/56 e 2010/11, 45% dos registos diários de precipitação acima do percentil 90 da estação de SJT ocorreram em Outubro, Novembro ou Dezembro. Esse número subiu para 49% nos últimos 12 anos desse período. No caso concreto de Outubro, o elevado número de sinistros APS esteve também relacionado com a importância das precipitações intensas registadas neste mês entre 1999/2000 e 2010/11 na estação de SJT. Nesse período, Outubro foi o mês com o maior número de dias com precipitação acima do percentil 90: 24

(19% do total). Por outro lado, a relevância dos sinistros APS no início da época chuvosa (ou do ano hidrológico) indicia que as inundações urbanas assumiram um papel mais determinante na AML e no período 2000-2011 do que aquele que tiveram na base de dados DISASTER. Em áreas fortemente impermeabilizadas a infiltração é muito reduzida e a precipitação, que, por norma, iria servir para alimentar o solo e o subsolo depois da estação seca, converte-se em escoamento superficial. Para além das razões indicadas, em áreas urbanas o escoamento da água da chuva depende essencialmente do sistema pluvial. O seu entupimento parcial no início do período chuvoso, devido à acumulação de folhagem, pode levar à intensificação dos prejuízos das inundações no mês de Outubro. Esse escoamento inicial pode resultar na limpeza do sistema de captação de águas pluviais, fazendo diminuir o número de sinistros APS nos meses seguintes.

Julho foi o único mês em que não se verificaram sinistros APS, embora nos restantes meses de Verão (Agosto e Setembro) se tenham registado mais sinistros APS do que em outros meses como Março, Maio e Junho (figura 5.4a). A explicação dada a propósito do número elevado de inundações em Outubro é, de certa forma, também válida para Agosto e Setembro. No período 2000-2011 verificaram-se dois eventos APS em Agosto e oito em Setembro. A respectiva precipitação desencadeante, aliada à frequente falta de limpeza do sistema de drenagem durante a estação seca, pode provocar inundações em meses cujo total de sinistros APS não se esperaria que fosse mais elevado do que em Março, por exemplo. Importa lembrar ainda que, por norma, as chuvadas fortes que ocorrem com alguma frequência do final do Verão propiciam uma forte erosão do solo, contribuindo para o arrastamento de sedimentos para os leitos fluviais.

O evento extremo de 2008 fez de Fevereiro o mês com mais sinistros APS (1078), possuindo, assim, um total que quase dobrou o de Outubro (figura 5.4a). De facto, a existência de um evento com estas características num período de 12 anos alterou de forma significativa a repartição mensal expectável dos sinistros APS. Note-se que Fevereiro foi apenas o quarto mês com precipitação média mais elevada e o quinto com maior número de dias com precipitação acima do percentil 90 na estação de SJT. Por outro lado, seria o sexto mês com mais sinistros APS (211) se o evento de 2008 não tivesse ocorrido (figura 5.4a).

Tal como acontece na distribuição inter-anual, o padrão intra-anual das indemnizações pagas foi semelhante ao dos sinistros APS, ou seja, os meses que tiveram um maior número de sinistros foram quase sempre os que geraram os montantes pagos mais elevados (figuras 5.4a e 5.4b). Também aqui o evento de 2008 fez acentuar a diferença entre Fevereiro e os restantes meses. As indemnizações deste mês (6.206.508 €) foram mais do triplo das registadas no segundo mês com o total mais elevado (Outubro) (figura 5.4b). O montante pago em resultado do evento de 2008 (5.326.948 €) foi, praticamente, igual ao total de todos os meses de Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro presentes na base de dados da APS. Isto é, um evento de precipitação com

duração de algumas horas foi capaz de provocar mais danos materiais do que os registados em 58 meses. No entanto, importa não esquecer que, tanto no número de sinistros APS como nas indemnizações, os totais de Novembro e Dezembro seriam provavelmente superiores aos apresentados se a base de dados APS incluísse os meses de Novembro e Dezembro de 2011.

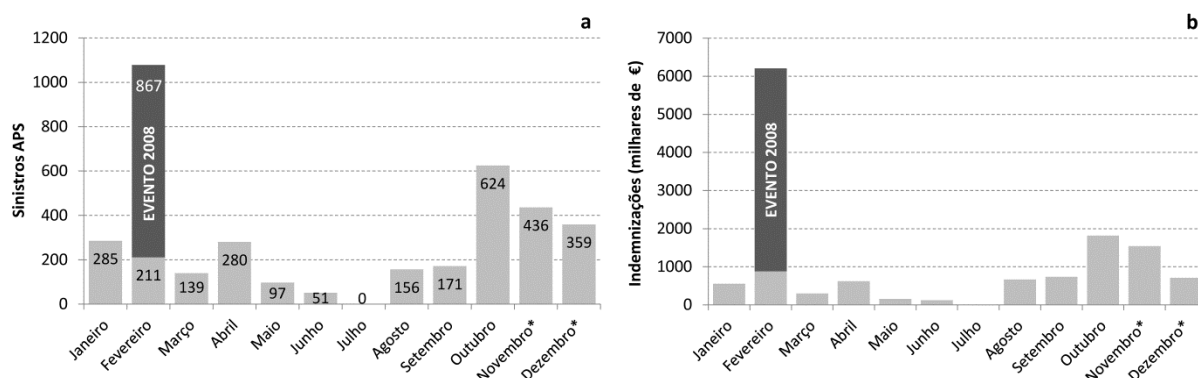


Figura 5.4 Número de sinistros APS (a) e indemnizações (b) por mês na AML (2000-2011).

* Em 2011, os sinistros APS e indemnizações dizem apenas respeito ao período Janeiro-Outubro.

Mesmo sem o evento de 2008, Fevereiro seria o terceiro mês mais relevante da base de dados no que diz respeito às indemnizações, atrás de Outubro e Novembro (figura 5.4b). É igualmente interessante verificar que em Agosto e Setembro foram pagos montantes mais elevados do que em Janeiro e Abril, mesmo contabilizando mais de 100 sinistros APS a menos. Porém, as indemnizações pagas pelas seguradoras estão dependentes do capital segurado na apólice de seguro, o que significa que os locais/espacos afectados pelas cheias/inundações e os respectivos montantes segurados podem condicionar o valor das indemnizações mensais, e mesmo anuais.

A evolução mensal dos sinistros APS e das indemnizações pagas ao longo dos quase 12 anos da base de dados APS na AML está representada na figura 5.5. Apesar de não se pode traçar uma tendência evolutiva para um período tão curto, é possível compreender o ritmo dos sinistros APS e das indemnizações durante os 142 meses que compõem a base de dados. Esta evolução retrata a irregularidade inter e intra-anual no número de sinistros APS e nas indemnizações (figura 5.5a), o que, por sua vez, surge como reflexo da irregularidade da precipitação em Portugal continental. Exceptuando Fevereiro de 2008, todos os meses do período 2000-2011 atingiram valores abaixo dos 200 sinistros APS ou de 1.000.000 € de indemnizações (figura 5.5a).

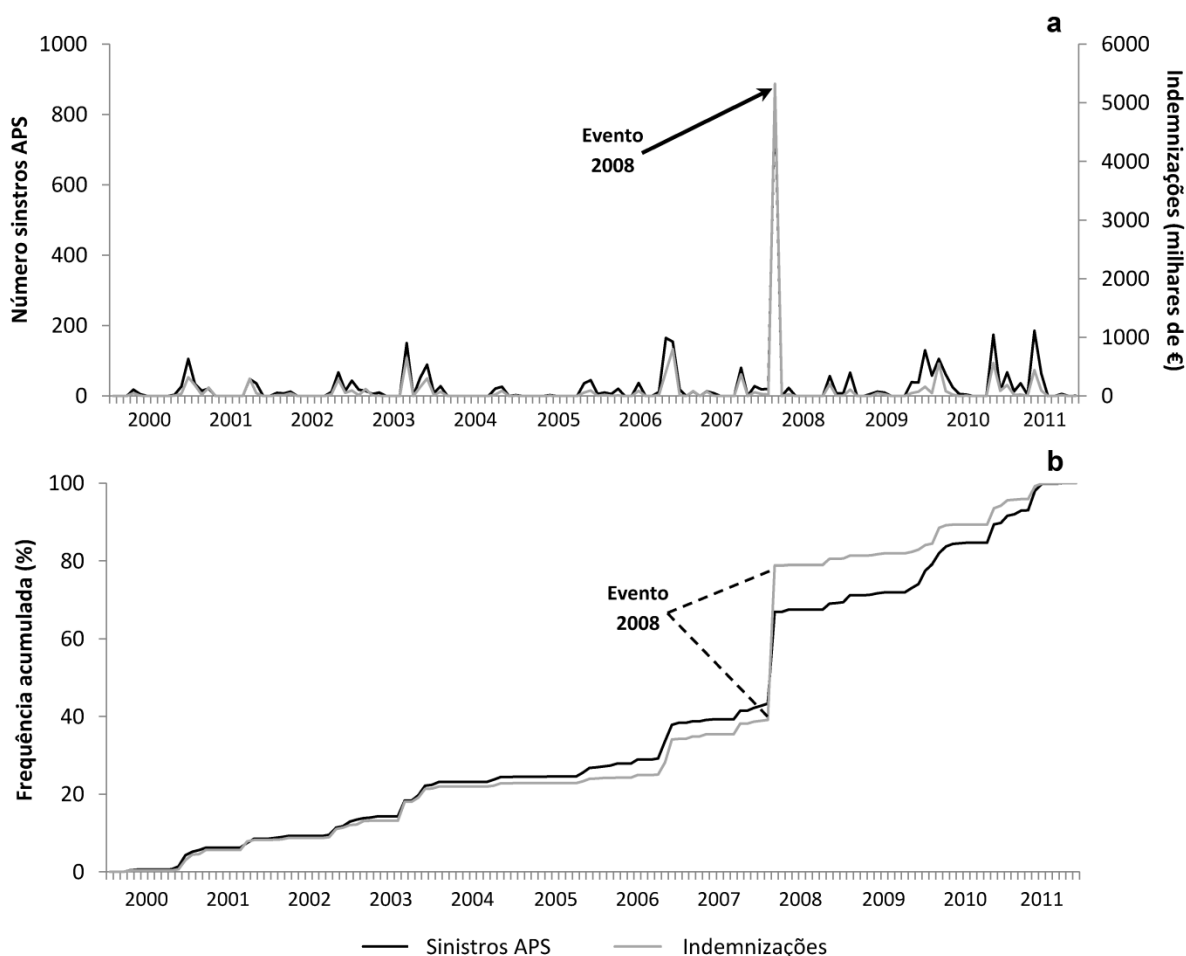


Figura 5.5 Evolução temporal dos sinistros APS e das indemnizações na AML (2000-2011) em valores absolutos **(a)** e em valores relativos acumulados **(b)**.

De uma forma genérica, os comportamentos evolutivos dos sinistros APS e das indemnizações foram semelhantes (figura 5.5a), embora os vários factores que aqui intervêm (exemplos: características da precipitação, meses em que ocorrem, tipo de edifícios afectados ou volume do capital segurado nas apólices) podem explicar por que razão nem sempre os meses/eventos com mais sinistros APS geram maiores indemnizações totais. De facto, parece existir alguma inércia na evolução das indemnizações no período estudado em comparação com os sinistros APS, notória, sobretudo, a partir do início de 2004 (figura 5.5b). Para além dos factores referidos, esta diferença também está relacionada com os 10% de sinistros APS em que não foram pagas indemnizações aos proprietários.

Como todos os números já mencionados demonstram, o peso do evento de Fevereiro de 2008 na base de dados APS foi muito acentuado. Tanto o pico visível na figura 5.5a, como a maior ruptura de declive visível na figura 5.5b ilustram a excepcionalidade deste evento neste contexto, confirmando-se, o quão diferente foi o evento de 2008 quando comparado com os restantes. Ao contabilizar uma percentagem mais elevada de indemnizações (40% do total) comparativamente à

dos sinistros APS (24% do total), este evento provocou uma inversão entre os sinistros APS e as indemnizações (figura 5.5b). Antes do evento ocorrer, os sinistros APS evoluíam a ritmo ligeiramente superior ao das indemnizações, o que significa que, até à data, 43% dos sinistros APS tinham sucedido, enquanto 39% das indemnizações tinham sido pagas. Com este evento os valores aumentaram de forma brusca, de tal modo que as indemnizações atingiram 79% do total, enquanto os sinistros APS alcançaram 67% do total. Isto comprova, por um lado, que a importância das indemnizações neste evento extremo foi superior à dos sinistros APS, e, por outro, que o montante médio pago em cada sinistro APS para o evento de 2008 (6144 €) foi bastante superior ao desembolsado para os restantes eventos (2878 €). A curva dos sinistros APS tende de novo a aproximar-se da curva das indemnizações depois da ocorrência do evento de 2008 (figura 5.5b).

As perdas seguiram o mesmo padrão de importância. O evento de 2008 apresentou perdas quase quatro vezes superiores às do total dos registos (5,1‰ contra 1,4‰) e quase seis vezes superiores se este evento não fosse considerado (0,9‰). A importância do evento de 2008 cresce à medida que a severidade das perdas aumenta, o que significa que, pelo menos, metade dos sinistros APS com perdas mais elevadas ocorreu durante este evento (figura 5.6). Nas classes com perdas superiores a 50%, ou seja, em que as indemnizações foram superiores a metade do capital segurado na apólice de seguro, houve mais sinistros APS resultantes do evento de 2008 do que nos restantes eventos ocorridos. A relevância deste evento foi 57,1% na classe de perdas 50-75% e 62,5% na classe acima de 75% (figura 5.6). Estes resultados espelham a maior capacidade destrutiva das cheias/inundações durante um evento extremo de precipitação, resultante do maior volume, profundidade e/ou velocidade do escoamento superficial gerado. Nas classes mais baixas de perdas, a relevância do evento de 2008 é menor, sobretudo na classe 0-5% (20,6% do total de sinistros APS) (figura 5.6). Esta é a classe mais representativa, pois em 87% do total de sinistros APS as perdas não ultrapassam 5%, o que explica o baixo valor médio obtido no âmbito desta base de dados (1,4‰).

Apesar de, na maioria dos casos, as perdas terem sido baixas ou muito baixas, isso não implica, necessariamente, que as indemnizações o tenham sido. Relembre-se que as perdas dependem do capital afectado e da sua relação com as indemnizações em cada sinistro APS, o que pode originar situações com perdas reduzidas e indemnizações elevadas. Nos sinistros APS mais dispendiosos para as seguradoras, os montantes pagos excederam 100.000 €. Curiosamente, o sinistro APS que gerou a indemnização mais elevada (467.850 €) (figura 5.7a) ocorreu num espaço industrial em que o capital afectado é também muito elevado e, por isso, a perda foi apenas de 0,3%.

Os valores dos percentis 90, 95 e 99 relativos às indemnizações pagas no evento de 2008 foram duas vezes mais elevadas em comparação com os restantes sinistros (figura 5.7a). As perdas apresentaram um comportamento semelhante, em que os sinistros APS resultantes do evento de 2008 atingiram valores a rondar o dobro dos outros registos da base de dados (figura 5.7b). Também

aqui, a única exceção é o valor máximo, apesar da diferença ser insignificante (figura 5.7b). Mais uma vez se percebe a magnitude deste evento no contexto da base de dados APS.

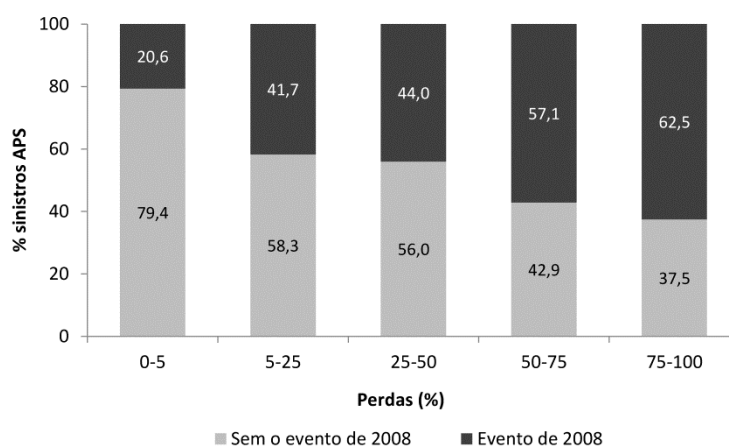


Figura 5.6 Peso do evento de 2008 por classe de perdas na AML (2000-2011).

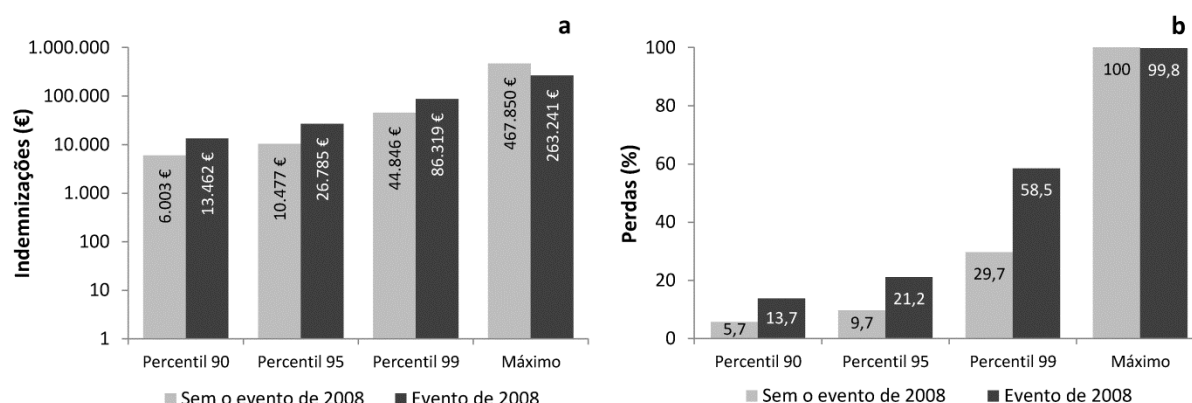


Figura 5.7 Percentis associados a indemnizações e a perdas na AML: **a)** valores das indemnizações comparando os sinistros APS do evento de 2008 com os restantes; **b)** valores das perdas comparando os sinistros APS do evento de 2008 com os restantes.

5.2.1.2. Distribuição espacial no período 2000-2011

A repartição espacial dos sinistros APS e dos respectivos danos materiais na AML no período 2000-2011 revelou uma disparidade acentuada entre a AML Norte e a AML Sul. A primeira sub-região contabilizou 84% dos sinistros APS (3075) e 83% das indemnizações (11.187.232 €) da AML, algo que, em parte, pode ser explicado pelas percentagens mais elevadas de áreas edificadas (62%), edifícios (62%) e apólices de seguros (74%). Na AML Norte, o número de sinistros APS/km² edificado foi também superior ao da AML Sul (8,4 vs. 2,6), assim como o número de sinistros APS por 1000 apólices de seguros (5,3‰ vs. 2,9‰). O mesmo aconteceu com as indemnizações/km² edificado (30.502 € vs. 9.734 €) e com as indemnizações por apólice de seguro (19 € vs. 11 €). Por outro lado, a AML Sul registou valores superiores aos da AML Norte nas indemnizações por sinistro APS (3.699 €

vs. 3.638 €) e nas perdas (3,01% vs. 1,22%). Há também que ter em conta que 82% do capital segurado e 93% do capital afectado pertenciam à AML Norte.

Ao desagregar a informação por município encontraram-se realidades diferentes (figura 5.8). Lisboa destacou-se dos restantes municípios, totalizando 1169 sinistros APS (32% do total) (figura 5.8a). Seguiram-se Sintra com 370 sinistros APS (10% do total) e Cascais com 366 sinistros APS (10% do total), menos de 1/3 da quantidade de sinistros APS atingidos em Lisboa (figura 5.8a). O primeiro concelho da AML Sul foi Setúbal (177; 5% do total), sendo apenas o 8º município nesta lista. Os concelhos menos representativos foram Barreiro (41), Montijo (38), Sesimbra (37), Moita (27) e Alcochete (14), todos localizados na AML Sul (figura 5.8a).

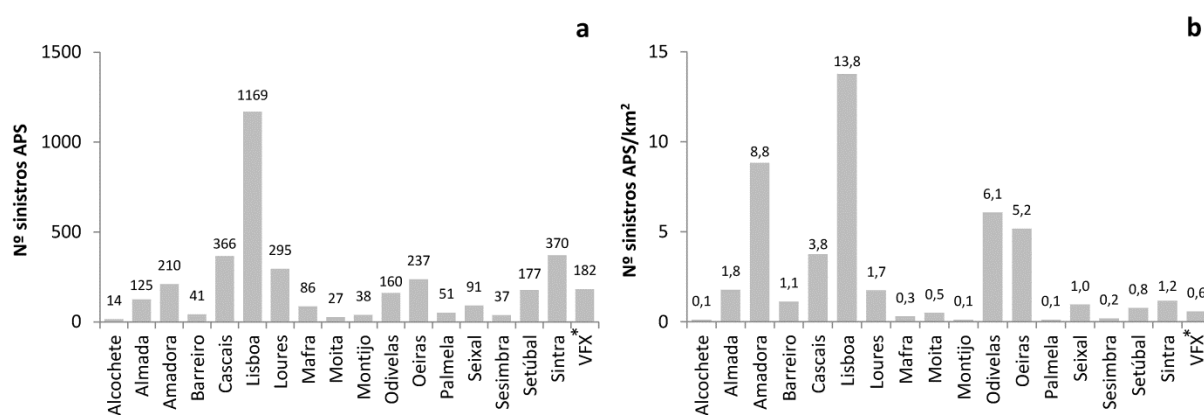


Figura 5.8 Sinistros APS por município da AML (2000-2011):

a) total de sinistros APS; b) número de sinistros APS/km².

* VFX - Vila Franca de Xira.

A discrepância no número de sinistros APS entre Lisboa e os restantes municípios está intrinsecamente ligada a dois grandes factores. O primeiro prende-se com a elevada exposição a inundações urbanas (FREN e FUNN), como se verá mais adiante, que resulta da quantidade e densidade de edifícios (73% de áreas edificadas em 2007 e 52.496 edifícios em 2011, equivalente a 618 edifícios/km²). Lisboa é apenas superada por Sintra no número de edifícios (56.903), embora a sua área seja quase quatro vezes menor, e por Odivelas na densidade do edificado (620/km²). O segundo factor que explica o predomínio de Lisboa no que diz respeito ao número de sinistros APS está relacionado as características físicas (geomorfológicas, litológicas e hidrológicas) e da própria malha urbana, que propiciam a ocorrência de inundações. O sub-dimensionamento da rede de águas pluviais, ligada aos colectores onde actualmente passam as ribeiras da cidade, também concorre para o aumento da frequência destes fenómenos.

Uma vez que os municípios da AML têm dimensões bastante diferentes, vale a pena explorar os dados por superfície (km²). Lisboa continuou a ser o concelho mais importante (14 sinistros APS/km²), mas Amadora (9 sinistros APS/km²) e Odivelas (6 sinistros APS/km²) passaram a ocupar o

segundo e terceiro lugares (figura 5.8b). Neste sentido, os números absolutos são muito relevantes, contudo, podem, por vezes, esconder a realidade, sobretudo quando as áreas dos concelhos são bastante díspares. Note-se, por exemplo, que as superfícies de Sintra e de Vila Franca de Xira são mais de 10 vezes superiores às de Odivelas e da Amadora, mas a percentagem de áreas edificadas nestes dois municípios é muito maior (figura 1.15).

Entre Janeiro de 2000 e Outubro de 2011 foram accionadas 0,5% (ou 4,7‰) das apólices de seguro na AML. De município para município, os valores não variam de forma substancial. Lisboa (6,9‰), Cascais (6,3‰) e Loures (6‰) atingiram os números mais elevados, sendo os concelhos em que o *ratio* entre sinistros APS e as apólices de seguro foi mais elevado. Os valores mais baixos foram registados para Moita (2,3‰), Seixal (2,2‰) e Barreiro (1,7‰).

Analisa-se de seguida os valores relativos ao capital afectado em cada município da AML (figura 5.9). Relembre-se que o indicador capital afectado que consta na base de dados APS não se refere ao montante que resulta da avaliação da estrutura e dos bens atingidos por cheias/inundações, mas sim aos montantes que constam nas apólices de seguro (capital segurado) dos espaços habitacionais, comerciais ou industriais afectados. Ou seja, não é contabilizado apenas o valor do que foi, directa ou indirectamente, afectado pela água, sendo o capital afectado todo o capital segurado de um local em que se verificou uma inundação e em que foi accionado o seguro. Como tal, o volume (em euros) do capital afectado em cada concelho está dependente dos montantes segurados nas apólices de seguros e da quantidade de sinistros APS.

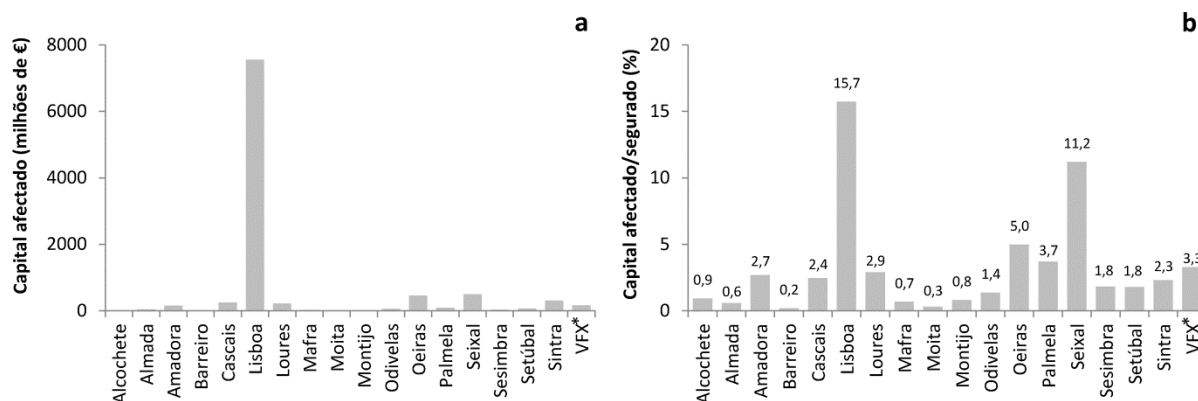


Figura 5.9 Capital afectado em cada município da AML (2000-2011):
a) capital afectado total; **b)** relação entre capital afectado e segurado (em %).

* VFX - Vila Franca de Xira.

Foi, de novo, Lisboa a destacar-se neste contexto. O seu valor total (7.555.214.220 €) ultrapassou em mais de 15 vezes o capital afectado do segundo município da AML (Seixal; 494.785.845 €), em mais de 16 vezes o valor do terceiro (Oeiras; 456.101.809 €) e em mais de 2500 vezes o valor do último (Moita; 2.844.227 €) (figura 5.9a). Esta diferença entre Lisboa e os restantes

concelhos da AML é, em parte, explicada pelo valor do capital segurado (48.045.686.653 €; quase quatro vezes superior ao de Sintra), também resultante do elevado número de apólices de seguros, e pelo grande número de sinistros APS registados (1169; mais de três vezes superior aos de Sintra – figura 5.8a).

Importa também analisar a porção do capital segurado que foi afectado por cheias/inundações. Para a globalidade da AML, esse valor correspondeu a 8%. Acima desse valor ficaram apenas Lisboa (16%) e Seixal (11%) (figura 5.9b). Tendo em conta a diferença tão grande no valor do capital afectado entre Lisboa e os restantes concelhos, já seria de esperar que a relação afectado/segurado ditasse um resultado semelhante. Seixal surgiu em segundo lugar, tal como nos valores absolutos (figuras 5.9a e 5.9b), facto que está relacionado com alguns sinistros APS que afectaram espaços industriais, cujos montantes segurados ultrapassam os 70 milhões de euros.

No que diz respeito às indemnizações (figura 5.10), o seu padrão de distribuição é semelhante ao dos sinistros APS. Lisboa foi também o município da AML que registou o maior quantitativo: 4.923.527 € (36% do total). Cascais (1.359.747 €; 10% do total) e Oeiras (1.221.808 €; 9% do total) foram os concelhos seguintes na hierarquia (figura 5.10a). Setúbal voltou a ser o município mais relevante da AML Sul, sendo o sexto com maior valor total (814.193 €). Os concelhos que totalizaram os montantes mais baixos foram aqueles onde ocorreram menos sinistros APS (Sesimbra, Barreiro, Moita, Montijo e Alcochete) (figura 5.10a).

A ponderação das indemnizações pela superfície dos municípios confirmou Lisboa como tendo um montante mais elevado (57.963 €/km²), ao qual se seguiram Oeiras (26.629 €/km²) e Odivelas (22.814 €/km²) (figura 5.10b). Por outro lado, ao efectuar-se uma ponderação das indemnizações por sinistro APS, de modo a determinar qual o custo médio de cada sinistro, obtiveram-se resultados algo inesperados face ao que tem sido demonstrado. Palmela foi, de longe, o concelho cujo custo médio de cada sinistro APS atingiu um valor mais elevado (12.398 €), o que representou mais do dobro dos valores do segundo e terceiro concelhos, Oeiras e Setúbal que alcançaram 5.155 € e 4.600 €, respectivamente. Os números fazem de Palmela um caso curioso neste contexto, uma vez que é o maior município da AML (465 km²), mas é apenas o 14º com mais apólices de seguro (14.781) e o 13º com mais sinistros APS (51). Por outro lado, foi o 7º com maior valor total de indemnizações (632.318 €), todavia as indemnizações resultantes de apenas três sinistros APS perfizeram 69% do seu total, situação que pode ajudar a explicar o facto de ser o município da AML com maior valor no *ratio* indemnizações/sinistro APS. Por fim, refira-se que Lisboa, apesar de se destacar nos valores absolutos e nos valores ponderados por km², foi apenas o 4º concelho com maiores indemnizações por sinistro APS (4.212 €).

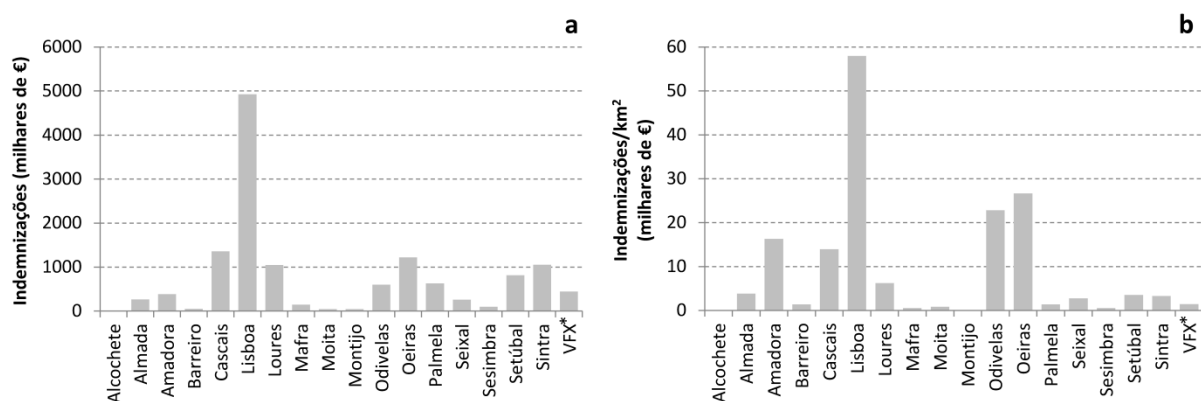


Figura 5.10 Indemnizações por município da AML (2000-2011):

a) indemnizações totais; **b)** indemnizações/km².

* VFX - Vila Franca de Xira.

Quanto às perdas, os resultados indicaram Moita (16,4‰), Barreiro (12,5‰) e Setúbal (12,2‰) como os municípios com os valores mais elevados (figura 5.11a). Recorde-se que este indicador é calculado de modo a entender, para cada sinistro APS, quanto do valor que consta na apólice de seguro é pago pela companhia de seguros em caso de cheia/inundação. Ora, o montante segurado em cada habitação ou espaço comercial/industrial varia muito de caso para caso, essencialmente devido ao conteúdo/recheio. Na maioria das situações de cheia/inundação na AML no período 2000-2011, houve apenas uma pequena parte do capital segurado que foi afectado, gerando as indemnizações correspondentes. Como já foi mencionado, em 87% dos sinistros APS, as perdas foram inferiores a 5%. Deste modo, se duas habitações iguais forem afectadas de igual modo por uma cheia/inundação e a primeira tiver um capital segurado na apólice de seguro 10 vezes superior à segunda, isso não significa que a indemnização paga seja 10 vezes superior. Há que ter em conta que é muito provável que a maior parte do recheio nem sequer seja afectado, logo, a perda na segunda casa será superior à da primeira, ainda que a indemnização paga seja menor. Por outro lado, as companhias de seguros nem sempre cobrem o total do valor afectado, quer seja devido às condições estabelecidas no contrato ou à avaliação aquando da peritagem do local afectado. Compreende-se, assim, que o indicador perda pode não ser a melhor opção quando é utilizado de forma comparativa (entre municípios, por exemplo), dado que existe a interferência de diversos factores que acabam por condicionar o resultado final. Olhando para os valores da figura 5.11a não se pode afirmar que o grau de perda resultante de cheias/inundações no concelho da Moita seja mais de 20 vezes superior ao de Lisboa. De facto, isso nunca poderia ser verdade, até pelas condições físicas e de ocupação do território de ambos os municípios.

Se, em vez das perdas médias, for considerada a perda máxima registada em cada município da AML, é possível conseguir uma noção mais próxima da realidade, especialmente no que respeita à severidade das cheias/inundações. Os resultados obtidos são, de facto, mais consistentes em relação

ao conhecimento existente dos concelhos e aos resultados de outros indicadores apresentados no decurso deste capítulo. As perdas máximas foram mais elevadas em Lisboa (100%; indemnização paga foi igual ao valor do capital afectado) e em Loures (99,8%) (figura 5.11b). Amadora (94,9%), Sintra (83,3%) e Odivelas (77,6%) registaram os valores seguintes (figura 5.11b). Setúbal foi o concelho da AML Sul que atingiu o valor mais elevado (65,5%), sendo os valores mais baixos registados na Moita (9,3%), Montijo (6,9%) e Alcochete (3,1%) (figura 5.11b).

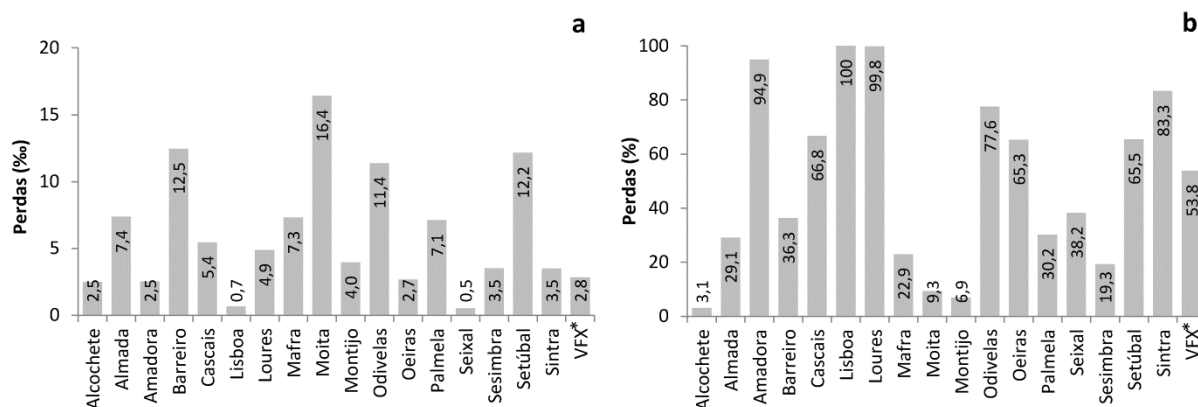


Figura 5.11 Perdas por município da AML (2000-2011): **a)** perdas médias (%); **b)** perdas máximas (%).

* VFX - Vila Franca de Xira.

Como sugerem os resultados apresentados nas últimas páginas, a quantidade de inundações que provocaram danos materiais em cada município mostrou-se dependente da extensão e densidade das respectivas áreas impermeabilizadas. Para medir o grau de associação entre os dados das seguradoras, a ocupação do solo e os dados relativos ao edificado nos 18 municípios da AML no período 2000-2011 foi elaborada uma matriz de correlação (tabela 5.3). Para que os dados fossem comparáveis entre concelhos, todos os indicadores foram ponderados pela área ou, no caso das áreas edificadas, calculados em percentagem. Os valores dos coeficientes de correlação foram obtidos tendo em conta a função que melhor se ajusta à distribuição nos gráficos de dispersão: linear ou logarítmica.

Como seria expectável, constatou-se uma correspondência elevada ou muito elevada entre os diversos indicadores utilizados. Numa perspectiva em cadeia que tem tanto de simples como de lógico, pode afirmar-se que onde existem mais áreas edificadas existem mais edifícios/km² (0,97); onde existem mais edifícios/km² existem mais alojamentos/km² (0,92); onde existem mais alojamentos/km² existem mais apólices de seguro/km² (0,99); onde existem mais apólices de seguro/km² existem mais sinistros APS/km² (0,94); e onde existem mais sinistros APS/km² existem mais indemnizações/km² (0,95) (tabela 5.3). De qualquer forma, o número de sinistros APS/km² apresentou uma correlação muito significativa não apenas com as apólices de seguro/km², mas

também com as áreas edificadas (0,94), com os edifícios/km² (0,91) e com os alojamentos/km² (0,95) (tabela 5.3). Por sua vez, as indemnizações/km² registaram valores ligeiramente inferiores, em comparação com os sinistros APS/km², para os quais podem contribuir vários factores como a magnitude da precipitação desencadeante, o montante segurado na apólice de seguro, a avaliação dos peritos das companhias de seguros ou a capacidade financeira da população. As correlações mais fracas foram obtidas para o capital afectado/km², variando entre 0,76 e 0,88 (tabela 5.3), pois trata-se de um elemento cujos valores são mais variáveis, pois dependem muito do conteúdo/recheio segurado e contratualizado na apólice de seguro.

Tabela 5.3 Matriz de correlação entre ocupação do solo, edificado e dados das seguradoras para os municípios da AML no período 2000-2011.

	Áreas edificadas (%)	Edifícios/km ²	Alojamentos/km ²	Apólices de seguro/km ²	Sinistros APS/km ²	Capital afectado/km ²	Indemnizações/km ²
Áreas edificadas (%)		0,97 (LIN)	0,92 (LIN)	0,95 (LOG)	0,94 (LOG)	0,85 (LOG)	0,88 (LOG)
Edifícios/km ²	0,97 (LIN)		0,92 (LIN)	0,93 (LOG)	0,91 (LOG)	0,76 (LOG)	0,83 (LOG)
Alojamentos/km ²	0,92 (LIN)	0,92 (LIN)		0,99 (LIN)	0,95 (LIN)	0,78 (LOG)	0,83 (LIN)
Apólices de seguro/km ²	0,95 (LOG)	0,93 (LOG)	0,99 (LIN)		0,94 (LIN)	0,79 (LOG)	0,83 (LIN)
Sinistros APS/km ²	0,94 (LOG)	0,91 (LOG)	0,95 (LIN)	0,94 (LIN)		0,83 (LOG)	0,95 (LIN)
Capital afectado/km ²	0,85 (LOG)	0,76 (LOG)	0,78 (LOG)	0,79 (LOG)	0,83 (LOG)		0,88 (LIN)
Indemnizações/km ²	0,88 (LOG)	0,83 (LOG)	0,83 (LIN)	0,83 (LIN)	0,95 (LIN)	0,88 (LIN)	

LIN – função linear; LOG – função logarítmica.

O tipo de função (linear ou logarítmica) que melhor se ajusta às diferentes combinações de variáveis presentes na tabela 5.3 variou de caso para caso. Tomando como exemplo as correlações estabelecidas entre as áreas edificadas e os outros elementos durante o período 2000-2011, foram definidas tendência lineares para os edifícios/km² e os alojamentos/km² (tabela 5.3). Por outro lado, a função logarítmica assegurou coeficientes de correlação mais elevados nas relações com as apólices de seguro/km², sinistros/km², capital afectado/km² e indemnizações/km² (tabela 5.3). Isto significa que, de uma forma mais ou menos proporcional, quanto maior for a percentagem de áreas edificadas num município, maior será o número de edifícios/km² (figura 5.12a) e de alojamentos/km². A mesma lógica não se aplica às combinações com funções logarítmicas. Por exemplo, o número de sinistros APS/km² não foi particularmente elevado nos concelhos com áreas edificadas abaixo de 45/50%, aumentando de forma substancial nos municípios mais impermeabilizados: Cascais (50%), Odivelas (57%), Oeiras (57%), Amadora (62%) e Lisboa (73%) (figura 5.12b).

A distribuição espacial dos danos materiais por concelho permitiu enquadrar a AML neste contexto e perceber as diferentes realidades desta região. Contudo, é necessário aumentar a escala de análise para obter uma compreensão completa da repartição espacial dos sinistros APS e das indemnizações. Devido ao tipo de informação disponível para a localização fornecida pela base de

dados APS e para utilizar o maior número de sinistros APS possível, recorreu-se aos códigos postais. Recorde-se que a AML está dividida em 86 códigos postais com superfícies representáveis (todos os que terminam em '0' ou em '5'), sendo possível a utilização de 3635 dos 3676 sinistros APS (99%).

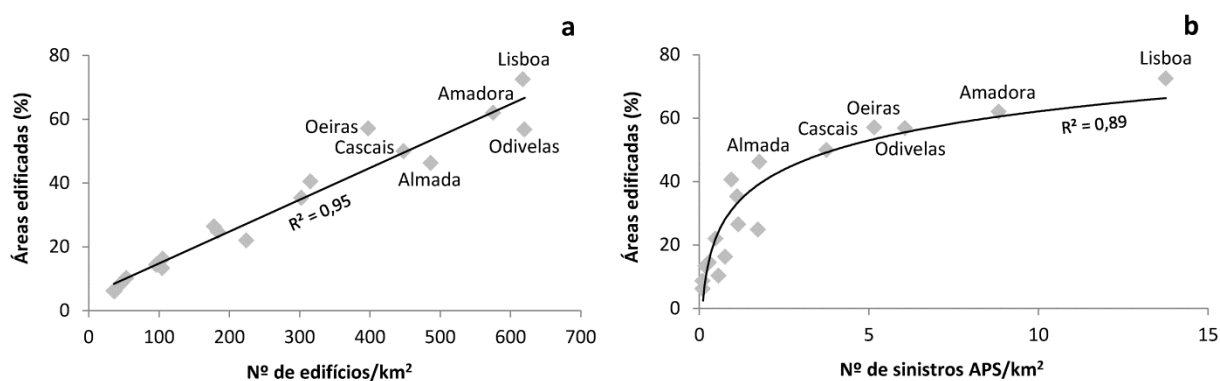


Figura 5.12 Relação entre a percentagem de áreas edificadas e o número de edifícios/km² (a) e o número de sinistros APS/km² (b) em cada município da AML (2000-2011).

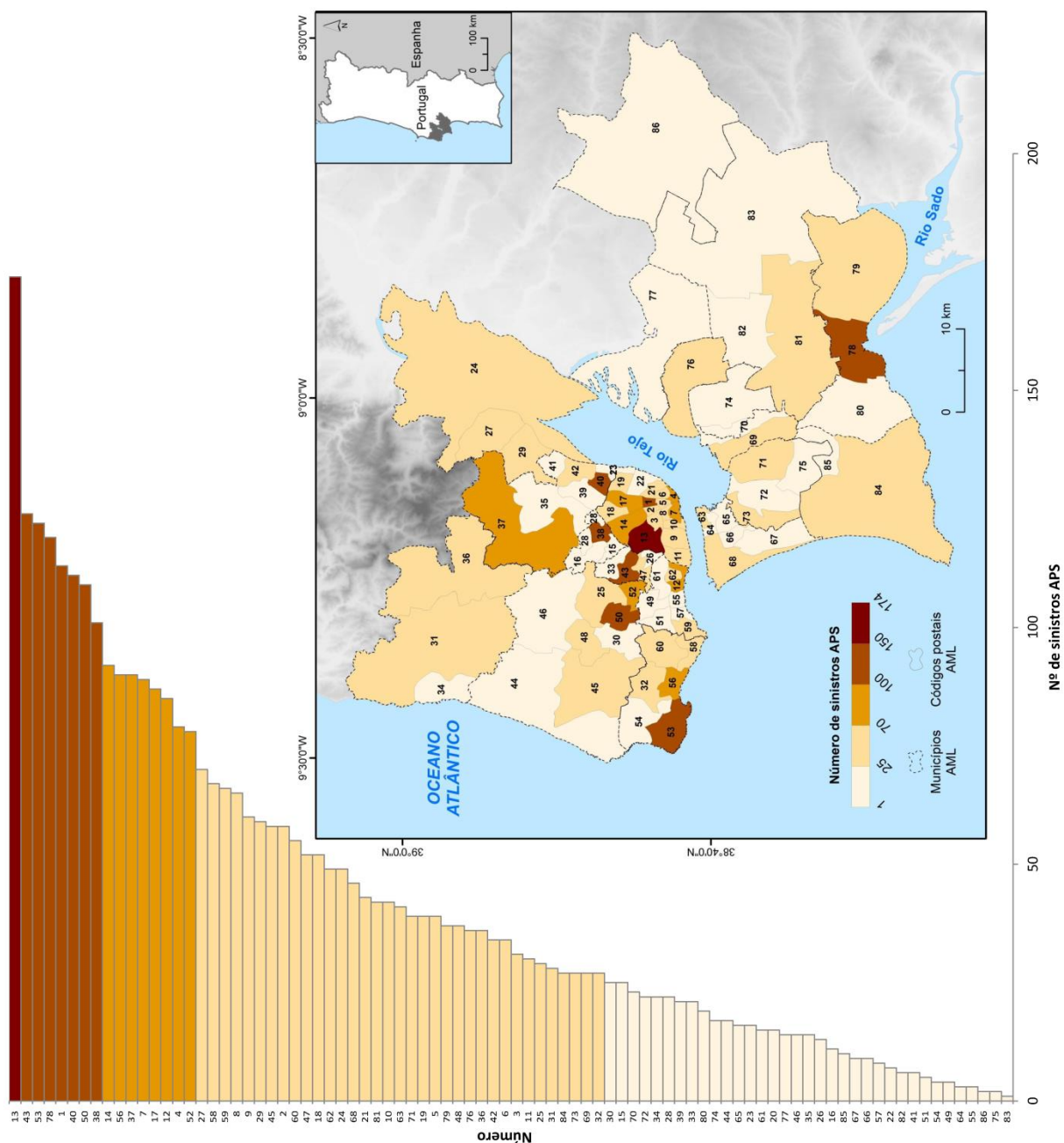
Os códigos postais que mais se destacaram foram 1500 (174 sinistros APS; Lisboa), 2700 (124 sinistros APS; Amadora), 2750 (122 sinistros APS; Cascais), 2900 (119 sinistros APS; Setúbal), 1000 (113 sinistros APS; Lisboa), 2685 (111 sinistros APS; Loures), 2735 (109 sinistros APS; Sintra) e 2675 (101 sinistros APS; Odivelas) (figura 5.13). Estes oito códigos postais (mais de 100 sinistros APS) localizam-se em sete municípios diferentes (apenas Lisboa surgiu por mais de uma vez: 1000 e 1500). Tal confirma que a escala municipal não fornece informação suficiente para analisar com detalhe a distribuição espacial deste tipo de fenómenos. Apesar da quantidade/densidade de edifícios estar na base do número elevado de sinistros APS registados nos códigos postais referidos, as explicações e enquadramentos geográficos são diferentes. Os códigos postais 1500 e 2700 correspondem, por um lado, ao início da linha ferroviária de Sintra, um dos eixos de crescimento urbano da cidade de Lisboa, e, por outro, a parte da bacia hidrográfica da ribeira de Alcântara. O código postal 2735 encontra-se na continuidade da linha ferroviária de Sintra, sendo uma área densamente construída e que está incluída na bacia hidrográfica da ribeira de Barcarena. O código postal 1000 corresponde a uma área do concelho de Lisboa impermeabilizada quase por completo (96% da superfície total em 2007), onde se situam alguns locais inundados com frequência. O código postal 2675 pertence ao município de Odivelas, tem mais de 70% da sua superfície ocupada por áreas edificadas e está incluído na bacia de uma ribeira (Póvoa) com historial de consequências humanas ligadas a cheias rápidas. Os códigos postais 2685, 2750 e 2900 apresentaram um elevado número de sinistros APS nas baixas de Sacavém, Cascais e Setúbal, respectivamente. Estes resultados são explicados, em grande medida, pelo sub-dimensionamento dos colectores nos sectores terminais das ribeiras do Prior Velho (Sacavém), Vinhas (Cascais) e Livramento (Setúbal) e/ou pela acção da maré.

A dimensão dos códigos postais é um factor importante na quantidade de sinistros APS. Por exemplo, 1500 foi aquele que registou mais sinistros APS, mas é o que possui a maior extensão dos que fazem parte do município de Lisboa. Como tal, é fundamental analisar também a repartição espacial do número de sinistros APS/km² (figura 5.14). Esta ponderação revelou uma distribuição espacial muito mais concentrada em Lisboa, comparativamente aos valores absolutos (figuras 5.13 e 5.14). Os seis códigos postais com valores mais elevados estão todos localizados no concelho de Lisboa: 1000 (67 sinistros APS/km²), 1100 (48 sinistros APS/km²), 1250 (41 sinistros APS/km²), 1050 (38 sinistros APS/km²), 1200 (32 sinistros APS/km²) e 1150 (25 sinistros APS/km²) (figura 5.14). Apesar de ser aquele que contabilizou o maior número de sinistros APS em toda a AML (174), o código postal 1500 foi apenas o 16º com mais sinistros APS/km² (figura 5.14), o que, em parte, se explica pela sua dimensão, mas também pela presença do Parque Florestal de Monsanto, que ocupa uma área significativa deste código postal.

Foram, sobretudo, os códigos postais mais próximos do centro da cidade de Lisboa, que são também os mais pequenos, os que registaram mais sinistros APS/km² (figura 5.14). À medida que a distância para o centro aumenta, a dimensão dos códigos postais é maior, a densidade do edificado torna-se menor, e isso reflecte-se na diminuição do número de sinistros APS/km². Para além disso, há outros dois factores que ajudam a explicar a distribuição dos sinistros APS/km² no município de Lisboa. O primeiro está relacionado com a localização de cada código postal no contexto das bacias hidrográficas que drenam a cidade. Enquanto a maioria dos seis códigos postais referidos se situa nos sectores jusante das bacias ou, pelo menos, incluem diversos sectores com fracos declives, favoráveis à acumulação de águas pluviais, outros são códigos postais que estão situados nas áreas de montante das bacias ou em áreas de divergência de águas (exemplos: 1600 ou 1700). O segundo factor tem, provavelmente, cariz económico/financeiro. O melhor exemplo é o código postal 1950, cujos limites são quase coincidentes com a freguesia de Marvila, que tem o número de apólices/km² mais baixo do concelho de Lisboa, algo que se reflecte na quantidade de sinistros APS aí registados.

Os códigos postais que se seguem na hierarquia aos seis de Lisboa localizam-se junto aos limites deste concelho: 2685 (23 sinistros APS/km²; Loures), 1885 (22 sinistros APS/km²; Loures), 2675 (20 sinistros APS/km²; Odivelas), 1495 (20 sinistros APS/km²; Oeiras) e 2795 (19 sinistros APS/km²; Oeiras) (figura 5.14). Refira-se que alguns destes códigos postais já apareciam nos primeiros lugares da classificação relativa ao número de sinistros APS (figura 5.13).

Depois dos sinistros APS, que determinam a localização e a quantidade de situações provocadas por cheias/inundações, procede-se à análise da distribuição espacial das indemnizações por código postal na AML (figuras 5.15 e 5.16). No fundo, estas expressam os verdadeiros danos materiais causados pelas cheias/inundações aquando da ocorrência de sinistros APS.



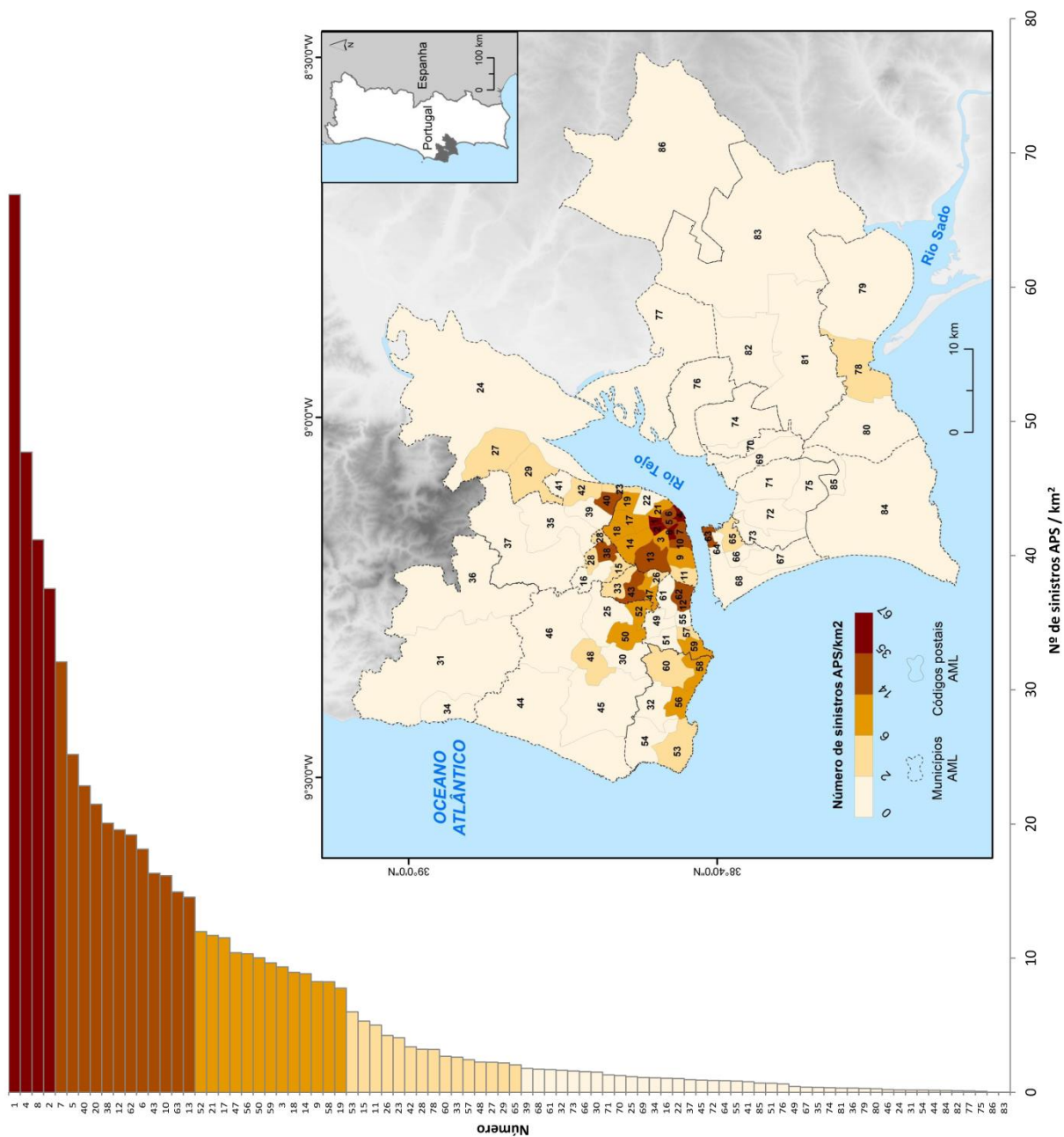
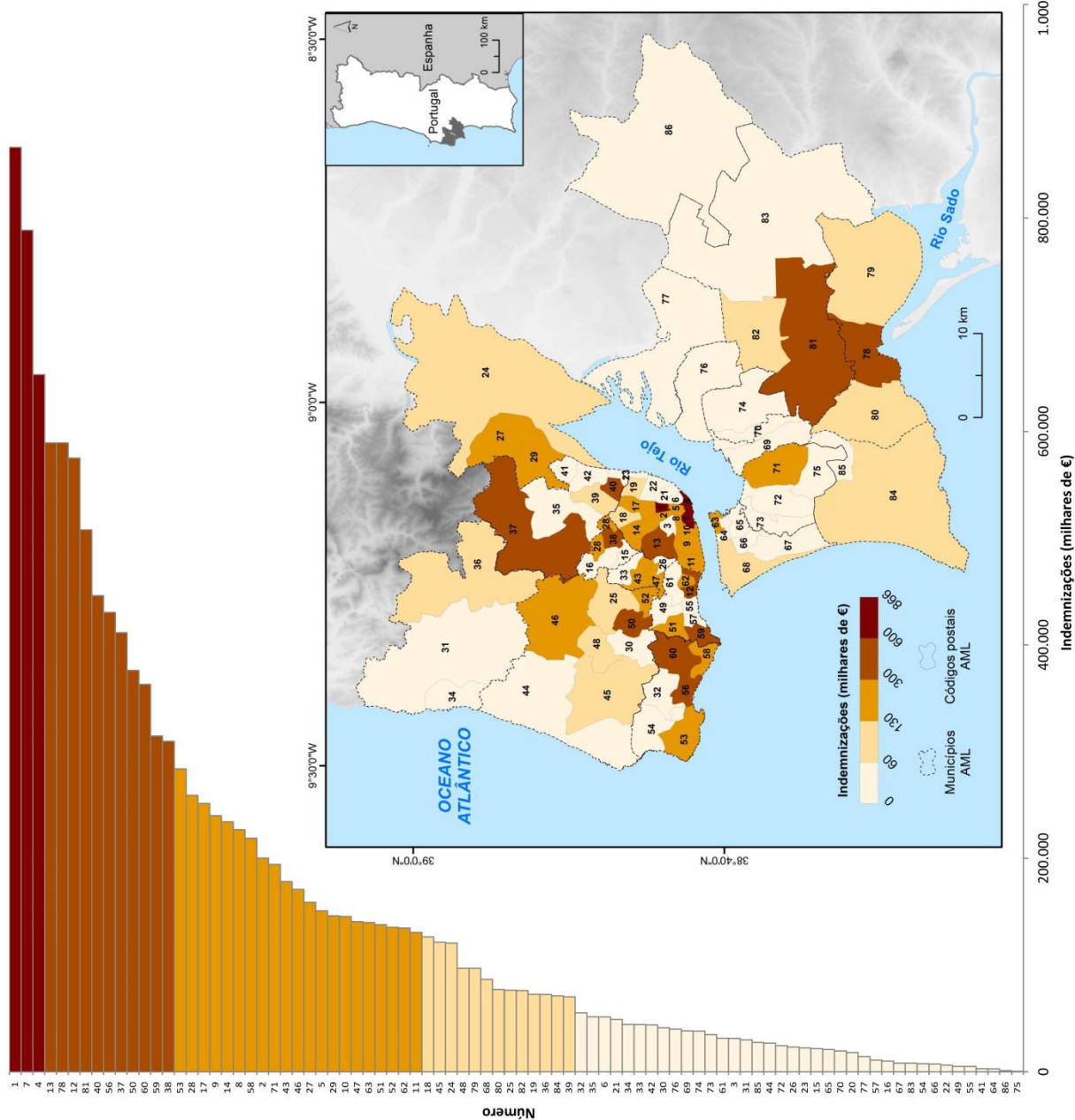


Figura 5.14 Número de sinistros APS/km² por código postal na AML (2000-2011).

Nº	Código postal	Município	Nº	Código postal	Município
1	1000	Lisboa	44	2705	Sintra
2	1050	Lisboa	45	2710	Sintra
3	1070	Lisboa	46	2715	Sintra
4	1100	Lisboa	47	2720	Amadora
5	1150	Lisboa	48	2725	Sintra
6	1170	Lisboa	49	2730	Oeiras
7	1200	Lisboa	50	2735	Sintra
8	1250	Lisboa	51	2740	Oeiras
9	1300	Lisboa	52	2745	Sintra
10	1350	Lisboa	53	2750	Cascais
11	1400	Lisboa	54	2755	Cascais
12	1495	Oeiras	55	2760	Oeiras
13	1500	Lisboa	56	2765	Cascais
14	1600	Lisboa	57	2770	Oeiras
15	1675	Odivelas	58	2775	Cascais
16	1685	Odivelas	59	2780	Oeiras
17	1700	Lisboa	60	2785	Cascais
18	1750	Lisboa	61	2790	Oeiras
19	1800	Lisboa	62	2795	Oeiras
20	1885	Loures	63	2800	Almada
21	1900	Lisboa	64	2805	Almada
22	1950	Lisboa	65	2810	Almada
23	1990	Lisboa	66	2815	Almada
24	2600	Vila Franca de Xira	67	2820	Almada
25	2605	Sintra	68	2825	Almada
26	2610	Amadora	69	2830	Barcelos e Moita
27	2615	Vila Franca de Xira	70	2835	Seixal
28	2620	Odivelas	71	2840	Seixal
29	2625	Vila Franca de Xira	72	2845	Seixal
30	2635	Sintra	73	2855	Seixal
31	2640	Mafra	74	2860	Moita
32	2645	Cascais	75	2865	Seixal
33	2650	Amadora	76	2870	Montijo
34	2655	Mafra	77	2890	Alcochete
35	2660	Loures	78	2900	Setúbal
36	2665	Mafra	79	2910	Setúbal
37	2670	Loures	80	2925	Setúbal
38	2675	Odivelas	81	2950	Palmeira
39	2680	Loures	82	2955	Palmeira
40	2685	Loures	83	2965	Palmeira
41	2690	Loures	84	2970	Sesimbra
42	2695	Loures	85	2975	Sesimbra
43	2700	Amadora	86	2985	Montijo



Nº	Código postal	Município	Nº	Código postal	Município
1	1000	Lisboa	44	2705	Sintra
2	1050	Lisboa	45	2710	Sintra
3	1070	Lisboa	46	2715	Sintra
4	1100	Lisboa	47	2720	Anadoura
5	1150	Lisboa	48	2725	Sintra
6	1170	Lisboa	49	2730	Oeiras
7	1200	Lisboa	50	2735	Sintra
8	1250	Lisboa	51	2740	Oeiras
9	1300	Lisboa	52	2745	Sintra
10	1350	Lisboa	53	2750	Cascais
11	1400	Lisboa	54	2755	Cascais
12	1495	Oeiras	55	2760	Oeiras
13	1500	Lisboa	56	2765	Cascais
14	1600	Lisboa	57	2770	Oeiras
15	1675	Odivelas	58	2775	Cascais
16	1685	Odivelas	59	2780	Oeiras
17	1700	Lisboa	60	2785	Cascais
18	1750	Lisboa	61	2790	Oeiras
19	1800	Lisboa	62	2795	Oeiras
20	1885	Loures	63	2800	Almada
21	1900	Lisboa	64	2805	Almada
22	1950	Lisboa	65	2810	Almada
23	1990	Lisboa	66	2815	Almada
24	2600	Vila Franca de Xira	67	2820	Almada
25	2605	Sintra	68	2825	Almada
26	2610	Anadoura	69	2830	Barreiro
27	2615	Vila Franca de Xira	70	2835	Barreiro e Moita
28	2620	Odivelas	71	2840	Seixal
29	2625	Vila Franca de Xira	72	2845	Seixal
30	2635	Sintra	73	2855	Seixal
31	2640	Mafra	74	2860	Moita
32	2645	Cascais	75	2865	Seixal
33	2650	Anadoura	76	2870	Montijo
34	2655	Mafra	77	2890	Alcochete
35	2660	Loures	78	2900	Setúbal
36	2665	Mafra	79	2910	Setúbal
37	2670	Loures	80	2925	Setúbal
38	2675	Odivelas	81	2950	Palmela
39	2680	Loures	82	2955	Palmela
40	2685	Loures	83	2965	Palmela
41	2690	Loures	84	2970	Sesimbra
42	2695	Loures	85	2975	Sesimbra
43	2700	Anadoura	86	2985	Montijo

Figura 5.15 Indemnizações (milhares de €) por código postal na AML (2000-2011).

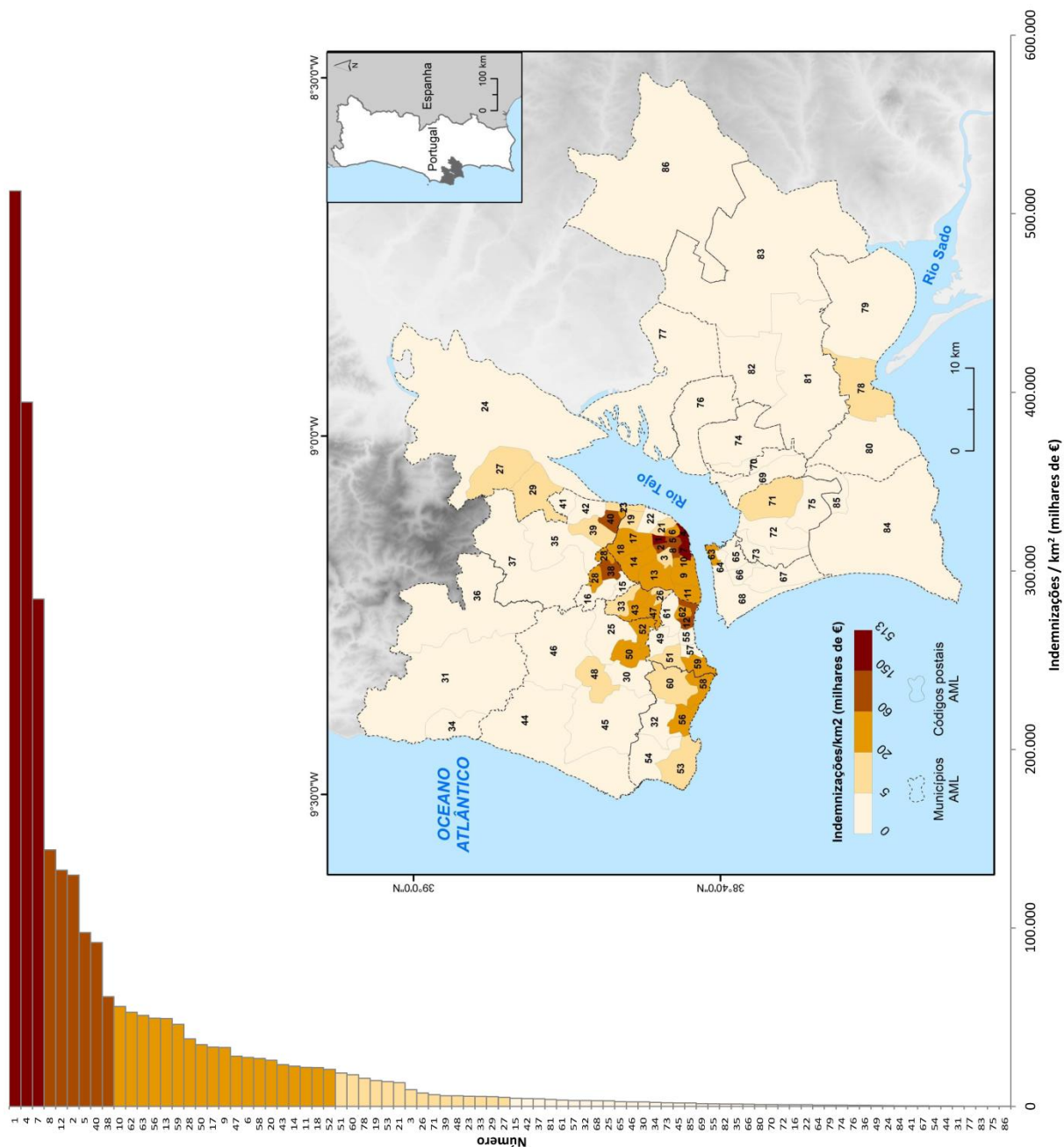


Figura 5.16 Indemnizações/km² (milhares de €) por código postal na AML (2000-2011).

Código postal	Município	Nº	Código postal	Município
1 1000	Lisboa	44 2705	Sintra	Sintra
2 1050	Lisboa	45 2710	Sintra	Sintra
3 1070	Lisboa	46 2715	Sintra	Sintra
4 1100	Lisboa	47 2720	Amadora	Amadora
5 1150	Lisboa	48 2725	Sintra	Sintra
6 1170	Lisboa	49 2730	Oeiras	Oeiras
7 1200	Lisboa	50 2735	Sintra	Sintra
8 1250	Lisboa	51 2740	Oeiras	Oeiras
9 1300	Lisboa	52 2745	Sintra	Sintra
10 1350	Lisboa	53 2750	Cascais	Cascais
11 1400	Lisboa	54 2755	Cascais	Cascais
12 1495	Oeiras	55 2760	Oeiras	Oeiras
13 1500	Lisboa	56 2765	Cascais	Cascais
14 1600	Lisboa	57 2770	Oeiras	Oeiras
15 1675	Odiveias	58 2775	Cascais	Cascais
16 1685	Odiveias	59 2780	Oeiras	Oeiras
17 1700	Lisboa	60 2785	Cascais	Cascais
18 1750	Lisboa	61 2790	Oeiras	Oeiras
19 1800	Lisboa	62 2795	Oeiras	Oeiras
20 1885	Loures	63 2800	Almada	Almada
21 1900	Lisboa	64 2805	Almada	Almada
22 1950	Lisboa	65 2810	Almada	Almada
23 1990	Lisboa	66 2815	Almada	Almada
24 2600	Vila Franca de Xira	67 2820	Almada	Almada
25 2605	Sintra	68 2825	Almada	Almada
26 2610	Amadora	69 2830	Barreiro	Barreiro e Mota
27 2615	Vila Franca de Xira	70 2835	Seixal	Seixal
28 2620	Odiveias	71 2840	Seixal	Seixal
29 2625	Vila Franca de Xira	72 2845	Seixal	Seixal
30 2635	Sintra	73 2855	Seixal	Seixal
31 2640	Mafra	74 2860	Mota	Mota
32 2645	Cascais	75 2865	Seixal	Seixal
33 2650	Amadora	76 2870	Montijo	Montijo
34 2655	Mafra	77 2880	Alcochete	Alcochete
35 2660	Loures	78 2900	Setúbal	Setúbal
36 2665	Mafra	79 2910	Setúbal	Setúbal
37 2670	Loures	80 2920	Setúbal	Setúbal
38 2675	Odiveias	81 2935	Palmela	Palmela
39 2680	Loures	82 2955	Palmela	Palmela
40 2685	Loures	83 2965	Palmela	Palmela
41 2690	Loures	84 2970	Sesimbra	Sesimbra
42 2695	Loures	85 2975	Sesimbra	Sesimbra
43 2700	Amadora	86 2985	Montijo	Montijo

Para além da magnitude e frequência dos eventos de precipitação e da altura/velocidade atingida pelo escoamento superficial, as indemnizações somadas dependem de três factores: 1) a quantidade de sinistros APS; 2) o capital afectado; e 3) a avaliação feita pelas companhias de seguros quando os seguros são accionados. Assim, é fundamental ter estes factores em conta no somatório dos montantes pagos e na sua distribuição espacial pelos códigos postais da AML. Os quatro que totalizaram maiores indemnizações em termos absolutos fazem parte do município de Lisboa: 1000 (866.336 €), 1200 (788.547 €), 1100 (653.323 €) e 1500 (589.291 €) (figura 5.15). Seguiram-se os códigos postais 2900 (589.268 €; Setúbal), 1495 (574.988 €; Oeiras), 2950 (507.847 €; Palmela), 2685 (446.252 €; Loures), 2765 (430.484 €; Cascais) e 2670 (411.560 €; Loures) (figura 5.15). É perceptível que a distribuição espacial das indemnizações apresentou um padrão com semelhanças ao do número de sinistros APS (figura 5.13), mas algo mais caótico (figura 5.15). Isto deveu-se à influência de dois factores referidos no início do parágrafo, que introduzem muita variabilidade na análise: o capital afectado/segurado e a avaliação dos peritos das companhias de seguros. Isto explica o surgimento do código postal 2950 (Palmela), que foi apenas o 32º com mais sinistros APS, mas o 4º com *ratio* indemnizações/sinistros APS mais elevado (12.092 €). Recorde-se, igualmente, que Palmela foi o município da AML cujo custo médio de cada sinistro APS foi mais elevado (12.398 €).

A ponderação pela área dos códigos postais revelou, mais uma vez, uma distribuição espacial distinta no que respeita às indemnizações (figura 5.16). Enquanto os valores absolutos favoreceram a acumulação de sinistros APS e de indemnizações nos códigos postais de maior dimensão, os valores ponderados pela área exponenciaram a importância dos de menor dimensão. Daqui resultou um padrão espacial mais concentrado no centro do concelho de Lisboa. Assim, os montantes pagos mais elevados pertenceram aos códigos postais 1000 (512.812 €/km²), 1100 (394.528 €/km²) e 1200 (284.242 €/km²) (figura 5.16). Com valores mais baixos seguiram-se outros códigos postais de Lisboa ou junto aos limites da capital: 1250 (143.706 €/km²), 1495 (132.343 €/km²), 1050 (129.606 €/km²), 1150 (97.430 €/km²), 2685 (91.852 €/km²) e 2675 (61.522 €/km²) (figura 5.16). Pode dizer-se que 1495 (Algés e Cruz Quebrada, pertencentes a Oeiras), 2675 (Odivelas) e 2685 (Sacavém, no concelho de Loures) são, provavelmente, os três códigos postais localizados fora de Lisboa mais problemáticos do ponto de vista dos danos materiais provocados por cheias/inundações. Refira-se ainda que, embora com menor importância, os códigos postais ao longo das linhas ferroviárias de Sintra e Cascais apresentaram também valores relevantes nas indemnizações/km² (figura 5.16).

As maiores concentrações de sinistros APS coincidiram com as áreas mais densamente ocupadas, embora também houvesse áreas edificadas com poucos ou nenhum sinistros APS (figura 5.17). A explicação pode residir nas características hidro-geomorfológicas e do edificado, na existência de cursos de água à superfície ou canalizados subterraneamente, na adequação ou inadequação na dimensão dos colectores das linhas de água, entre outras razões. A existência e a

localização dos sinistros APS, sobretudo quando são desencadeados por inundações urbanas, dependem muito de factores locais, que podem passar por dificuldades de escoamento relacionadas com a ausência de declive num determinado sector de uma rua ou com o entupimento das sarjetas (Cherqui *et al.*, 2015). Isso pode ser suficiente para se verificarem sinistros APS num local em detrimento de outro.

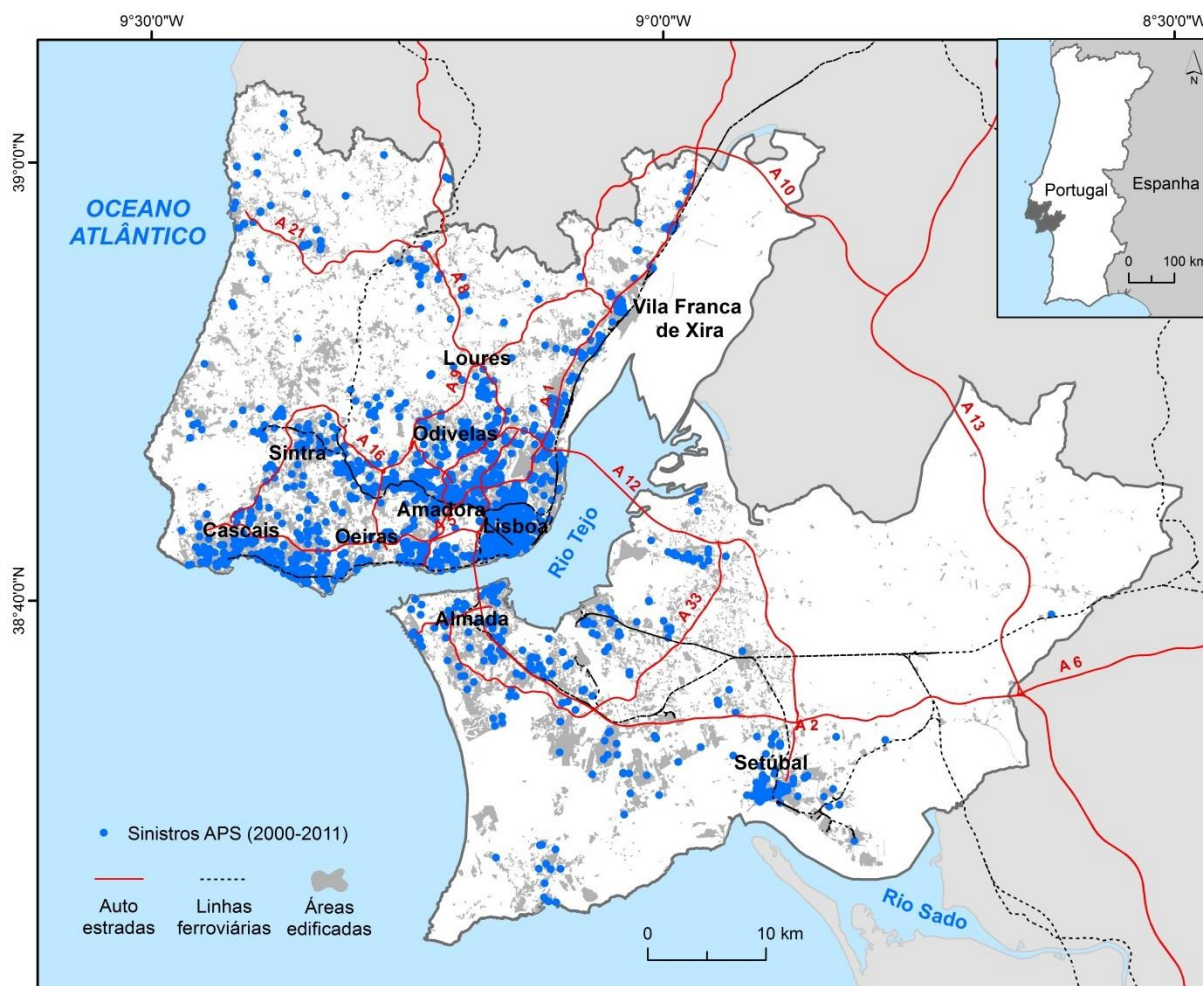


Figura 5.17 Distribuição espacial dos sinistros APS na AML (2000-2011).

A influência dos factores locais só pode ser aferida e comprovada com recurso aos sinistros APS que possuem informação detalhada acerca da sua localização (código postal com sete dígitos). Ora, isso acontece em 1956 sinistros APS (53% do total). A distribuição espacial dos sinistros APS com localização precisa (figura 5.17) aponta para quatro aspectos fundamentais que, aliás, já tinham sido notórios na análise por município e/ou código postal: 1) a disparidade no número de sinistros APS entre a AML Norte e a AML Sul; 2) a grande concentração de pontos no município de Lisboa; 3) alinhamentos ao longo dos quatro eixos de expansão urbana que partem de Lisboa e que são, genericamente, coincidentes as três principais linhas ferroviárias da AML Norte (Cascais, Sintra e Vila

Franca de Xira) e com a estrada nacional 8/auto-estrada A8 (Odivelas e Loures); e 4) a existência de sectores problemáticos como as baixas de Algés, Sacavém e Setúbal, algo que está relacionado com problemas ligados à insuficiente capacidade de vazão dos colectores por onde escoam, subterraneamente, os cursos de água nos seus troços finais, ou à acção da maré em situações de preia-mar, combinada com elevados caudais das ribeiras.

São os factores locais, enquadrados pelo respectivo contexto geográfico, que resultam na existência de locais que ficam inundados com alguma frequência na AML, dando origem aos chamados sectores/pontos críticos. Neste estudo, estes representam pequenas áreas (largos, praças ou pracetas) ou sectores de arruamentos (ruas, avenidas ou estradas) com três ou mais sinistros APS localizáveis em datas distintas no período 2000-2011. Foram identificados 44 sectores/pontos críticos na AML (figura 5.18 e tabela 5.4), onde foram registados 200 sinistros APS (10% do total de sinistros APS localizáveis) e totalizados 1.042.465 € em indemnizações (17% do total das indemnizações referentes aos sinistros APS localizáveis). É importante lembrar que a frequência de ocorrência de sinistros APS num determinado local não significa, necessariamente, que as cheias/inundações que aí sucedem tenham elevada magnitude. Por outras palavras, frequência pode não implicar gravidade.

Como seria de esperar, a distribuição espacial deste indicador confirmou muito do que foi ilustrado pela figura 5.17, ou seja, o predomínio da AML Norte em relação à AML Sul, o núcleo existente no município de Lisboa e os *hotspots* de Algés, Sacavém e Setúbal (figura 5.18 e tabela 5.4). Assim, dos 44 sectores/pontos críticos identificados, 36 localizam-se na AML Norte (82%), correspondendo a 85% dos sinistros APS e a 69% das indemnizações registadas nestes locais. No concelho de Lisboa estão incluídos metade dos sectores/pontos críticos da AML (22), 51% dos sinistros APS associados e 42% das indemnizações. Os municípios seguintes são Loures (6), Setúbal (5) e Oeiras (4). Contudo, importa referir que a repartição espacial dos sectores/pontos nestes concelhos se faz de forma distinta. Enquanto em Setúbal todos se localizam na baixa da cidade, em Loures verificam-se três em Sacavém, dois na Bobadela e um em Camarate. Quanto a Oeiras, três situam-se na Baixa de Algés e outro em Linda-a-Velha. Note-se ainda que Odivelas e Cascais não contabilizam qualquer sector/ponto crítico e Sintra regista apenas um.

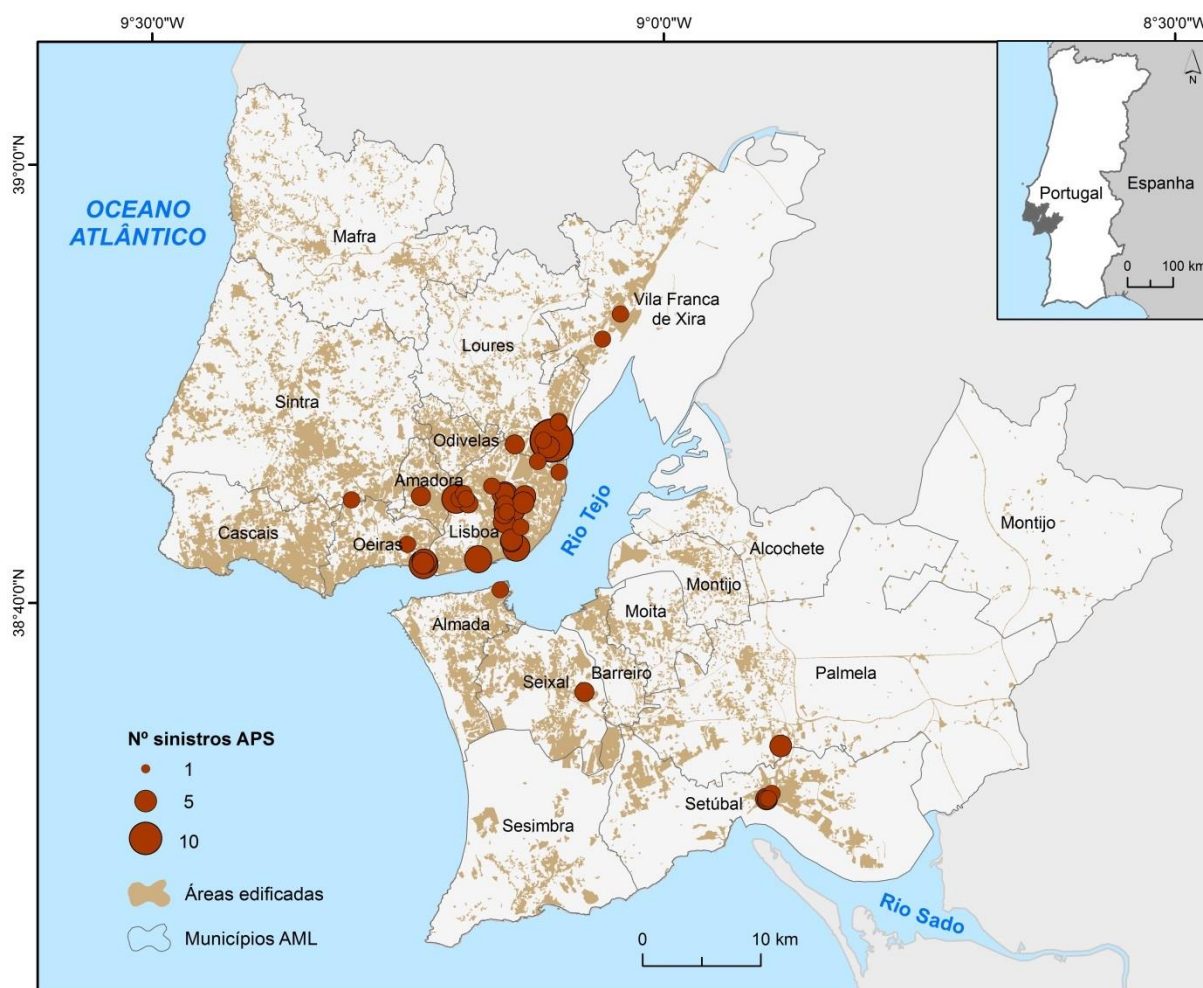


Figura 5.18 Distribuição espacial dos sectores/pontos críticos na AML (2000-2011).

Mais em pormenor, a Praça da República em Sacavém (Loures) foi o sector/ponto crítico mais relevante da AML, totalizando quase 150.000 € em indemnizações, repartidos por 16 sinistros APS (figura 5.18 e tabela 5.4). Seguiram-se o Campo Pequeno (Avenidas Novas, Lisboa) com 9 sinistros APS e a Rua General Humberto Delgado (Algés, Oeiras) e a Avenida Gomes Pereira (Benfica, Lisboa), ambas com 8 sinistros APS (figura 5.18 e tabela 5.4). Note-se que a maioria dos arruamentos presentes na tabela 5.4 possui vários códigos postais (sete dígitos) associados, logo, quando se refere um determinado arruamento, isso não significa que toda a sua extensão seja um sector/ponto crítico. A Avenida 5 de Outubro e a Estrada de Benfica, em Lisboa, são vias que apresentaram dois sectores/pontos críticos cada, situados em dois troços distintos. Para além dos citados, acrescentam-se ainda outros exemplos de locais frequentemente inundados como a Praça D. Pedro IV, a Rua de São José ou o Campo Grande (Lisboa), ou os vários arruamentos identificados nas baixas de Algés, Sacavém e Setúbal (figura 5.18 e tabela 5.4). Estes resultados serviram ainda para confirmar que alguns dos sectores/pontos críticos correspondem a locais problemáticos da AML, conhecidos pela quantidade de cheias/inundações.

Tabela 5.4 Localização e número de sinistros APS registados nos sectores/pontos críticos na AML (2000-2011).

Município	Freguesia / Localidade	Arruamento	Código postal	Nº sinistros APS
Lisboa	Avenidas Novas	Campo Pequeno	1000 - 078/082/306	9
Lisboa	Avenidas Novas	Avenida 5 de Outubro	1050 - 062/063; 1069 - 307	3
Lisboa	Avenidas Novas	Avenida Poeta Mistral	1050 - 182	4
Lisboa	Avenidas Novas	Rua Latino Coelho	1069 - 068	5
Lisboa	Santa Maria Maior	Praça D. Pedro IV	1100 - 199/200/202	7
Lisboa	Arroios	Avenida Almirante Reis	1150 - 013/021/022	3
Lisboa	Santo António	Rua de São José	1150 - 322/324/325	5
Lisboa	Santo António	Avenida da Liberdade	1250 - 145/146	5
Lisboa	Alcântara	Rua Fradesso da Silveira	1300 - 260/609	7
Oeiras	Algés	Rua Ernesto da Silva	1495 - 056/056	5
Oeiras	Algés	Rua General Humberto Delgado	1495 - 067	8
Oeiras	Algés	Rua Dr. Manuel de Arriaga	1495 - 087/088	6
Lisboa	São Domingos de Benfica	Estrada de Benfica	1500 - 078/079/081	4
Lisboa	Benfica	Estrada de Benfica	1500 - 105	3
Lisboa	Benfica	Avenida Gomes Pereira	1500 - 328/329	8
Lisboa	Carnide	Rua Galileu Galilei	1500 - 392	3
Lisboa	São Domingos de Benfica	Rua Professor Reinaldo dos Santos	1500 - 506	3
Lisboa	Avenidas Novas	Avenida 5 de Outubro	1600 - 035; 1649 - 011	3
Lisboa	Lumiar	Rua Professor Vítor Fontes	1600 - 670	3
Lisboa	Alvalade	Avenida Almirante Gago Coutinho	1700 - 028/031	5
Lisboa	Alvalade	Avenida do Brasil	1700 - 062/069	4
Lisboa	Alvalade	Campo Grande	1700 - 094/096/097	6
Lisboa	Alvalade	Rua Guilhermina Suggia	1700 - 225/226	5
Lisboa	Olivais	Rua Dr. José Saraiva	1800 - 182/183	3
Lisboa	Olivais	Avenida D. João II	1990 - 084	3
Vila Franca de Xira	Alverca do Ribatejo	Rua da Juventude	2615 - 119/120/121	3
Vila Franca de Xira	Forte da Casa	Rua 25 de Abril	2625 - 467/468	3
Loures	Camarate	Rua Cidade do Lobito	2680 - 046	4
Loures	Sacavém	Rua Estado da Índia	2685 - 002/003	5
Loures	Sacavém	Rua Dr. Pereira Jardim	2685 - 092	3
Loures	Sacavém	Praça da República	2685 - 105	16
Loures	Bobadela	Rua António Ferreira	2695 - 019/020	3
Loures	Bobadela	Rua da Costa	2695 - 030	3
Amadora	Reboleira	Rua Manuel Lírio	2720 - 360	4
Sintra	Agualva e Mira Sintra	Alameda de São Marcos	2735 - 010	3
Oeiras	Linda-a-Velha	Avenida Tomás Ribeiro	2795 - 184	3
Almada	Almada	Avenida D. Afonso Henriques	2800 - 011/012	3
Seixal	Aldeia de Paio Pires	Rua José Maria Baldi	2840 - 071	4
Setúbal	Setúbal	Rua Almeida Garrett	2900 - 212	3
Setúbal	Setúbal	Rua Augusto Cardoso	2900 - 256	5
Setúbal	Setúbal	Praça do Bocage	2900 - 276	4
Setúbal	Setúbal	Rua do Bocage	2900 - 277	3
Setúbal	Setúbal	Rua dos Correeiros	2900 - 336	3
Palmela	Palmela	Rua de Angola	2950 - 115	5

5.2.1.3. Distribuição espacial no evento extremo de 2008

Devido à sua relevância na base de dados APS, importa analisar a distribuição espacial dos danos materiais causados pelo evento extremo de Fevereiro de 2008. Relembre-se que este evento originou 867 sinistros APS (24% do total) e 5.326.942 € em indemnizações (40% do total). Em termos absolutos, Lisboa voltou a ser o município em que se registaram mais sinistros APS (239; 20% do seu total), ao qual se seguiram Cascais e Loures (110; 30% e 37% dos seus totais, respectivamente), Sintra (98; 27% do seu total) e Oeiras e Setúbal (79; 33% e 45% dos seus totais, respectivamente) (figura

5.19a). Odivelas registou 50 sinistros APS (31% do seu total), mas a sua reduzida dimensão (segundo município mais pequeno da AML), colocou-o em segundo lugar no número de sinistros APS/km² (1,9), logo atrás de Lisboa (2,8). Importa ainda referir que Setúbal foi o único concelho da AML Sul a caber nos oito municípios com mais sinistros APS.

A hierarquia dos concelhos no que respeita ao número de sinistros APS no evento de 2008 não diferiu, de forma substancial, do que foi apresentado para o período 2000-2011 (figuras 5.8a e 5.19a). Todos os concelhos da AML averbaram pelo menos um sinistro APS. Porém, a clivagem entre Lisboa e os municípios seguintes (Cascais, Loures e Sintra) verificada no período total da base de dados APS foi bem menos acentuada no evento de 2008. Verificou-se também que o evento de 2008 teve um peso menor no total de sinistros APS em Lisboa, em comparação com outros municípios. Se em Lisboa esse valor foi de 20%, nos seis concelhos seguintes (Cascais, Loures, Sintra, Oeiras, Setúbal e Odivelas) foi sempre igual ou superior a 30%. Estes números podem sugerir uma maior predisposição para a ocorrência de danos materiais durante eventos de precipitação com baixa ou média magnitude na capital em relação a outros concelhos da AML.

Quanto às indemnizações, é perceptível que os municípios que se destacaram na quantidade de sinistros APS foram também aqueles que somaram os maiores montantes totais pagos (figura 5.19b). Lisboa atingiu 1.389.012 €, Loures 745.950 €, Cascais 672.125 € e Oeiras 669.281 €. Assim, tal como ocorreu para os sinistros APS, o intervalo entre Lisboa e Cascais, Loures ou Oeiras foi bastante menor no evento de 2008 em relação ao período 2000-2011. As indemnizações pagas em Lisboa nesse período foram quatro/cinco vezes superiores às totalizadas em Cascais, Loures ou Oeiras, enquanto, no evento de 2008, a diferença cifrou-se na ordem dos 700.000 €, ou seja, sensivelmente o dobro do valor (figuras 5.10a e 5.19b).

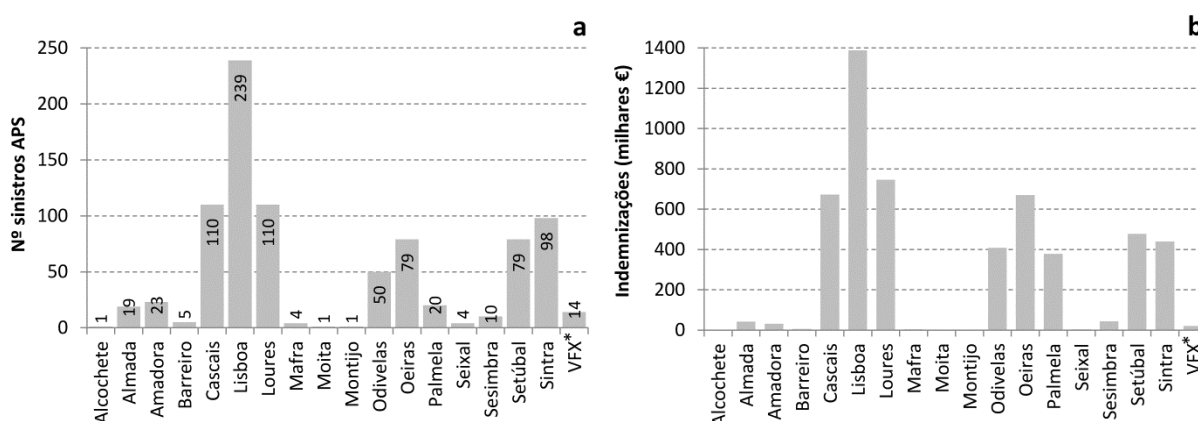


Figura 5.19 Resultados referentes ao evento de 2008 para os municípios da AML:

a) número de sinistros APS; **b)** indemnizações.

* VFX - Vila Franca de Xira.

Mantendo ainda os municípios da AML como escala de análise, considerou-se interessante repetir o exercício realizado na tabela 5.3, mas, desta vez, estabelecendo correlações entre os indicadores de ocupação do solo e do edificado e os dados das seguradoras referentes ao evento extremo de Fevereiro de 2008 (tabela 5.5) e ao período 2000-2011 sem este evento (tabela 5.6). Isto permitiu compreender até que ponto um evento com aquelas características pôde influenciar os valores dos coeficientes de correlação e se esses valores foram diferentes dos obtidos para o período global da base de dados APS.

Tabela 5.5 Matriz de correlação entre ocupação do solo, edificado e dados das seguradoras para os municípios da AML no evento de 2008.

	Áreas edificadas (%)	Edifícios/km ²	Alojamentos/km ²	Apólices de seguro/km ²	Sinistros APS/km ²	Capital afectado/km ²	Indemnizações/km ²
Áreas edificadas (%)		0,97 (LIN)	0,92 (LIN)	0,95 (LOG)	0,83 (LIN)	0,82 (LOG)	0,72 (LIN)
Edifícios/km ²	0,97 (LIN)		0,92 (LIN)	0,93 (LOG)	0,78 (LIN)	0,74 (LOG)	0,67 (LIN)
Alojamentos/km ²	0,92 (LIN)	0,92 (LIN)		0,99 (LIN)	0,83 (LIN)	0,77 (LOG)	0,67 (LIN)
Apólices de seguro/km ²	0,95 (LOG)	0,93 (LOG)	0,99 (LIN)		0,83 (LIN)	0,79 (LOG)	0,68 (LIN)
Sinistros APS/km ²	0,83 (LIN)	0,78 (LIN)	0,83 (LIN)	0,83 (LIN)		0,84 (LOG)	0,95 (LIN)
Capital afectado/km ²	0,82 (LOG)	0,74 (LOG)	0,77 (LOG)	0,79 (LOG)	0,84 (LOG)		0,73 (LIN)
Indemnizações/km ²	0,72 (LIN)	0,67 (LIN)	0,67 (LIN)	0,68 (LIN)	0,95 (LIN)	0,73 (LIN)	

LIN – função linear; LOG – função logarítmica.

Tabela 5.6 Matriz de correlação entre ocupação do solo, edificado e dados das seguradoras para os municípios da AML no período 2000-2011 sem o evento de 2008.

	Áreas edificadas (%)	Edifícios/km ²	Alojamentos/km ²	Apólices de seguro/km ²	Sinistros APS/km ²	Capital afectado/km ²	Indemnizações/km ²
Áreas edificadas (%)		0,97 (LIN)	0,92 (LIN)	0,95 (LOG)	0,95 (LOG)	0,85 (LOG)	0,93 (LOG)
Edifícios/km ²	0,97 (LIN)		0,92 (LIN)	0,93 (LOG)	0,92 (LOG)	0,75 (LOG)	0,87 (LOG)
Alojamentos/km ²	0,92 (LIN)	0,92 (LIN)		0,99 (LIN)	0,95 (LIN)	0,78 (LOG)	0,85 (LOG)
Apólices de seguro/km ²	0,95 (LOG)	0,93 (LOG)	0,99 (LIN)		0,95 (LIN)	0,79 (LOG)	0,86 (LOG)
Sinistros APS/km ²	0,95 (LOG)	0,92 (LOG)	0,95 (LIN)	0,95 (LIN)		0,81 (LOG)	0,95 (LIN)
Capital afectado/km ²	0,85 (LOG)	0,75 (LOG)	0,78 (LOG)	0,79 (LOG)	0,81 (LOG)		0,94 (LIN)
Indemnizações/km ²	0,93 (LOG)	0,87 (LOG)	0,85 (LOG)	0,86 (LOG)	0,95 (LIN)	0,94 (LIN)	

LIN – função linear; LOG – função logarítmica.

Confirmou-se que as correlações estabelecidas entre os sinistros APS/km² desencadeados pelo evento de 2008 e as áreas edificadas (0,83), edifícios/km² (0,78), alojamentos/km² (0,83) e apólices de seguro/km² (0,83) foram mais baixas (tabela 5.5). O mesmo sucedeu para as indemnizações/km², cujos coeficientes variaram entre 0,68 e 0,72 (tabela 5.5). Por outro lado, o coeficiente de correlação entre sinistros APS/km² e indemnizações/km² manteve-se nos 0,95, o que significa que o grau de associação entre estes dois indicadores é semelhante, quer se trate de um evento extremo de precipitação ou de um conjunto de eventos com diferentes magnitudes (tabelas 5.5 e 5.6). A verdade é que não se esperaria que estes valores fossem muito distintos, até porque as indemnizações estão dependentes da quantidade de sinistros APS. Todavia, isso não significa que as indemnizações resultantes deste evento tenham sido semelhantes. A prova está no valor das

indemnizações por sinistro APS para este evento (6.144 €) em comparação com o dos restantes eventos (2.878 €). Se o evento de 2008 não tivesse acontecido, as correlações entre os indicadores de ocupação do solo/edificado e os dados das seguradoras teriam sido ainda mais elevadas (tabela 5.6). Se se confirma que a quantidade de sinistros APS nos concelhos da AML esteve, durante o período 2000-2011, directamente dependente da extensão das áreas edificadas e da densidade dos edifícios/alojamentos, para o evento de 2008 parecem existir outros factores que explicam o número de sinistros APS em cada município da AML.

A distribuição espacial dos sinistros APS localizáveis (figura 5.20) referentes ao evento de 2008 ilustra a menor dependência dos sinistros APS em relação às áreas edificadas em comparação com o período 2000-2011. Todavia, e apesar de esta dependência ser menos notória, continuou a verificar-se uma razoável coincidência espacial entre a localização dos danos materiais e das áreas impermeabilizadas. Na verdade, essa ligação nunca poderia desaparecer devido às características da base de dados APS e ao facto de, durante um evento extremo de precipitação, não ocorrerem apenas cheias/inundações relacionadas com as linhas de água, quer se encontrem à superfície ou canalizadas subterraneamente.

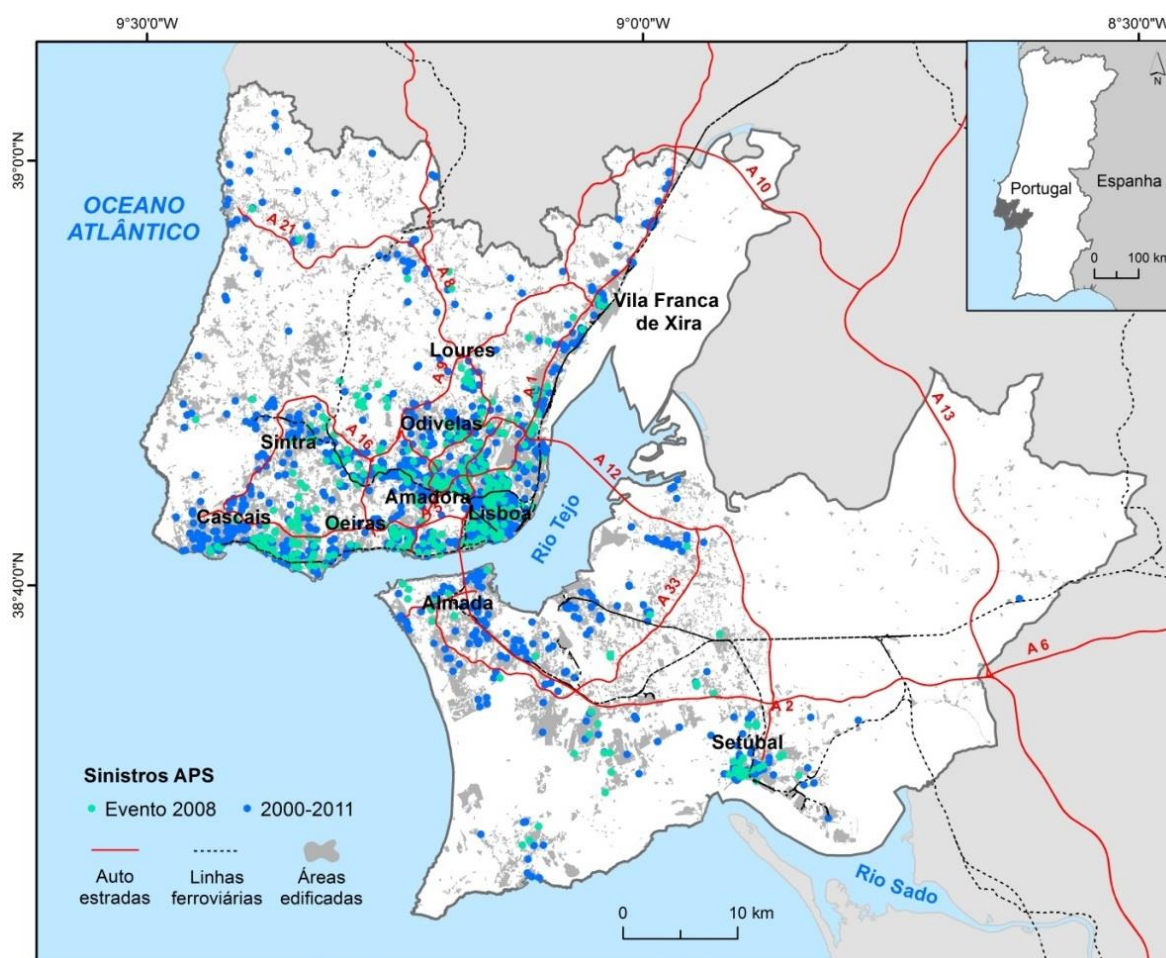


Figura 5.20 Distribuição espacial dos sinistros APS na AML no período 2000-2011 e no evento de 2008.

Por outro lado, observa-se, de modo genérico, uma diminuição do número de sinistros APS à medida que a distância a Lisboa e/ou ao núcleo de maior precipitação aumenta (figuras 2.11 e 5.20). A maior excepção a esta regra foi Setúbal, que acumulou inúmeros sinistros APS na baixa da cidade, embora este município tenha sido afectado por um segundo núcleo de precipitação (figura 2.11), menos importante, em que os valores mais elevados foram registados no final da manhã/início da tarde do dia 18 de Fevereiro.

A relação entre a base de dados APS e a precipitação, não só para o evento de 2008, como para o período 2000-2011, será explorada de seguida.

5.2.1.4. Relações espaciais entre a base de dados APS e a precipitação

O capítulo 4 mostrou que, para se verificarem ocorrências DISASTER, ou seja, cheias/inundações capazes de gerar danos humanos, foram necessárias precipitações com magnitudes consideráveis. Isso não acontece com os sinistros APS, que ocorrem com muito maior facilidade actualmente na AML. Por outras palavras, neste contexto uma precipitação com elevada frequência e baixa magnitude pode ser suficiente para causar inundações com danos materiais. Assim, foi encontrada uma relação forte entre a precipitação anual da estação de SJT e o número de eventos APS por cada hidrológico para o período 2000/01-2010/11, o que explica a importância dos anos húmidos na quantidade de eventos APS (figura 5.21). É perceptível que se registaram mais eventos APS nos anos com maiores quantitativos de precipitação (figura 5.21a), situação confirmada pelos elevados coeficientes de correlação ($R = 0,92$) e de determinação ($R^2 = 0,84$) (figura 5.21b).

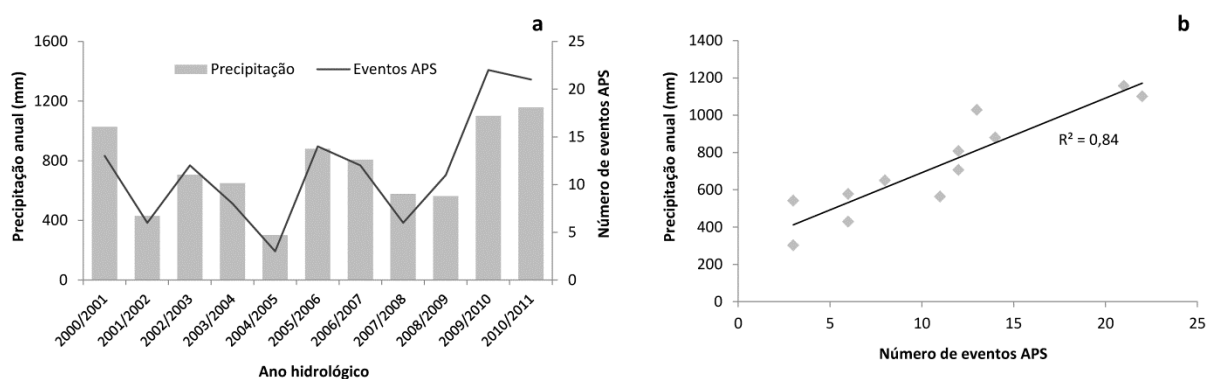


Figura 5.21 Precipitação anual na estação de SJT e número de eventos APS na AML por ano hidrológico (2000/01-2010/11) (a) e sua relação (b).

Por outro lado, e apesar de se estimar que 3/4 dos sinistros que constam na base de dados APS estejam relacionados com a precipitação, isso não significa, necessariamente, que exista uma relação proporcional forte entre a precipitação e a quantidade de sinistros APS. Isto é, o mesmo valor diário de precipitação pode gerar muitos, poucos ou até nenhum sinistro APS. De facto, as

correlações obtidas entre a precipitação e os dados das seguradoras para cada evento não são significativas. A relação mais forte foi alcançada entre o valor registado na estação meteorológica com a precipitação diária mais elevada e o número de sinistros APS por evento ($R = 0,55$; $R^2 = 0,30$). Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Spekkers *et al.* (2013b) e Zhou *et al.* (2013). Na verdade, não é razoável esperar uma relação mais directa entre estas variáveis, pois existem diversos factores que podem aqui interferir: 1) a qualidade e disponibilidade dos dados de precipitação e das seguradoras (Merz *et al.*, 2004; Spekkers *et al.*, 2013a); 2) a distribuição espacial e temporal da precipitação desencadeante; 3) as características geomorfológicas, litológicas e hidrológicas das áreas afectadas; 4) a extensão das áreas edificadas/impermeabilizadas; 5) a quantidade de edifícios/propriedades expostas (e com seguro); 6) a capacidade dos sistemas de drenagem de águas pluviais para lidar com eventos de precipitação intensa; 7) as características da malha urbana; e 8) o efeito da maré e/ou das situações de *storm surge* nos sectores terminais dos cursos de água localizados em áreas costeiras ou estuários (Archetti *et al.*, 2011; Condon e Sheng, 2012; Chen e Liu, 2014).

De modo a minimizar o efeito da distribuição espacial e temporal da precipitação desencadeante, foram considerados para cada evento APS os valores para 1, 3, 6, 12 e 24 horas na estação de SJT e os sinistros APS localizados num raio de 10 km desta estação. Dos 134 eventos APS, foram considerados 123 nesta análise, já que para os restantes 11 não existem dados de precipitação horária em SJT. Constatou-se que as relações entre a quantidade de sinistros APS e os valores de precipitação, independentemente da duração, são fracas (figura 5.22). Mais uma vez, o evento de Fevereiro de 2008 destacou-se dos restantes, embora em Dezembro de 2009 se tenha registado um valor de precipitação para 1 hora superior ao daquele evento extremo (28,4 mm vs. 26,2 mm). A realidade ilustrada pela figura 5.22 demonstra que o número de sinistros APS não esteve dependente da quantidade de precipitação, excepto no evento de 2008. Eventualmente, isto pode ter-se devido a evoluções temporais distintas dos eventos de precipitação. Para testar isso, foram colocados em confronto quatro eventos APS (figura 5.23). Não há dúvidas que o evento de 2008 foi diferente dos restantes, mas, nem a quantidade de precipitação nos vários períodos, nem a sua evolução temporal, justificaram o número de sinistros APS registados nos outros três eventos. Por exemplo, verificaram-se mais sinistros APS (15) durante o evento de 29 de Setembro de 2007 do que durante o evento de 6 de Dezembro de 2000 (2), mesmo com valores de precipitação significativamente mais baixos (figura 5.23).

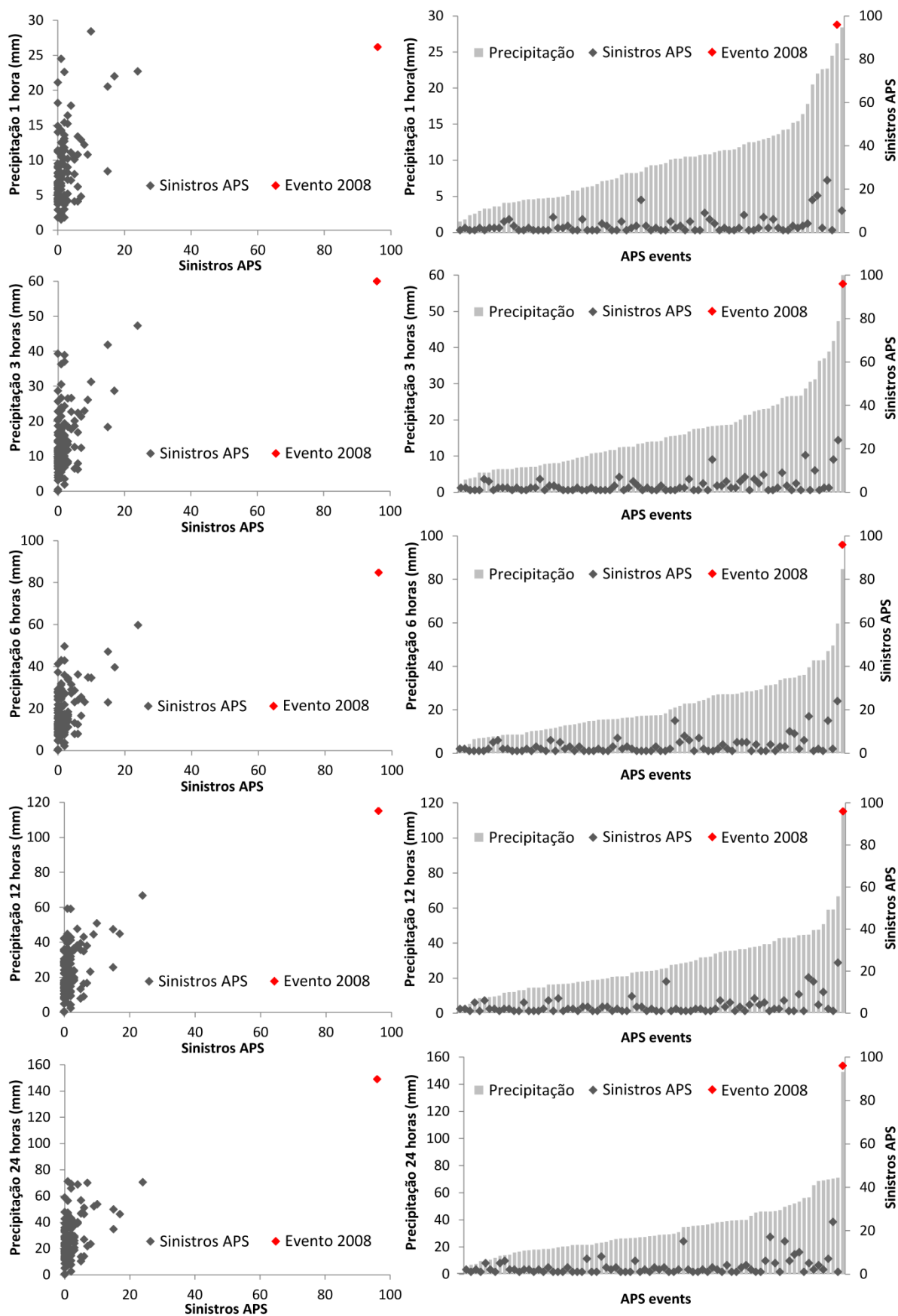


Figura 5.22 Precipitação para 1, 3, 6, 12 e 24 horas na estação de SJT e número de sinistros APS em cada evento APS.

Se o número de sinistros APS não esteve relacionado com a precipitação, o mesmo não sucedeu com a sua ocorrência. Apesar de precipitações elevadas não significarem, em muitos casos, muitos sinistros APS, precipitações elevadas parecem justificar a ocorrência de, pelo menos, um sinistro APS. Através dos valores de precipitação para 1 hora em SJT, foi possível verificar que a propensão para a ocorrência de sinistros APS (num raio de 10 km) subia à medida que a intensidade da precipitação aumentava (figura 5.24). Assim, foram definidos três níveis de propensão de ocorrência de inundações, em que 55% dos registos entre 5 e 7 mm/hora geraram no mínimo um sinistro APS; este valor sobe para 85% entre 7,1 e 10,5 mm/hora e para 100% acima de 10,5 mm/hora. Isto significa que, no período 2000-2011, houve pelo menos um sinistro APS (nas proximidades da estação de SJT) sempre que ocorreu uma precipitação horária acima de 10,5 mm.

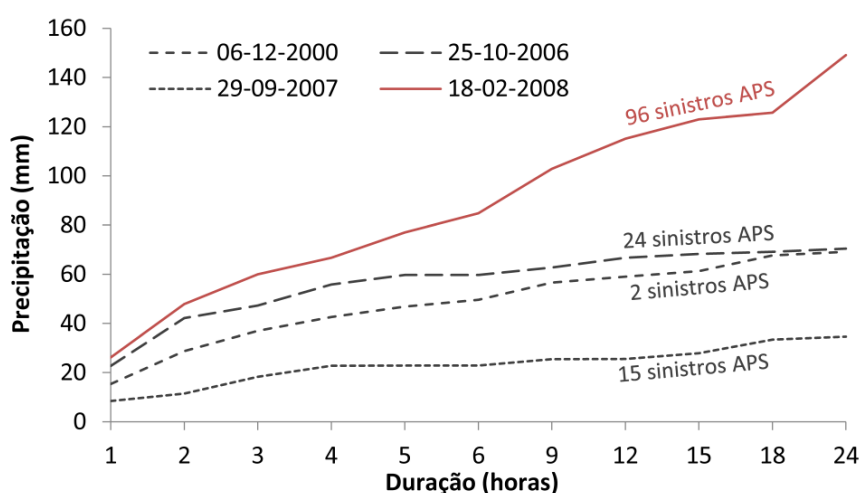


Figura 5.23 Evolução temporal de quatro eventos de precipitação que causaram números diferentes de sinistros APS num raio de 10 km da estação de SJT.

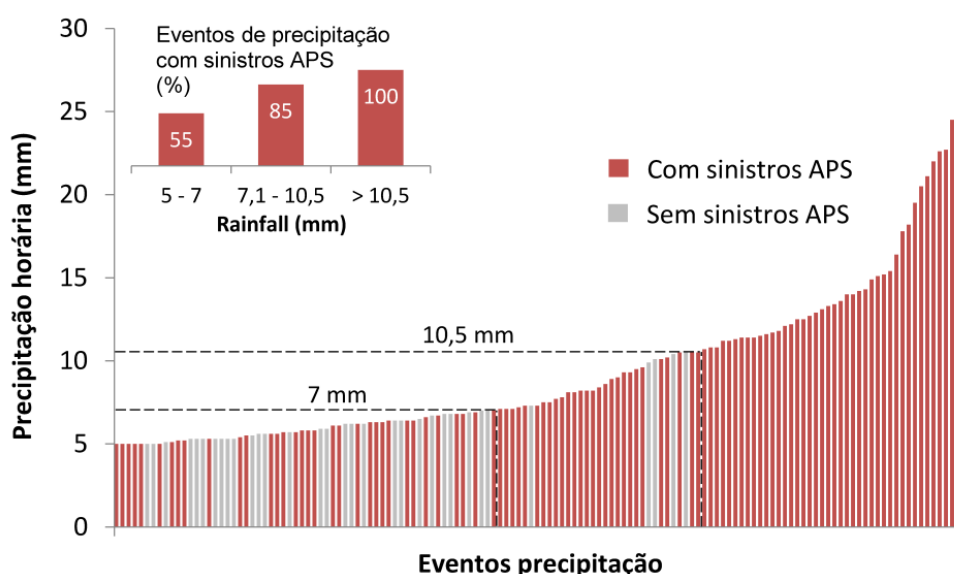


Figura 5.24 Níveis de propensão de ocorrência de inundações para a estação de SJT.

É importante referir que estes valores não podem ser classificados como limiares de precipitação, mas sim como níveis de propensão de ocorrência de inundações. É preciso ter em conta que se trata de uma série de apenas 12 anos (2000-2011), o que se revela insuficiente para serem definidas tendências. Reconheça-se ainda que um valor horário elevado de precipitação pode não ser suficiente por si só para desencadear uma inundação, porque a duração de uma precipitação desencadeante é, muitas vezes, superior a uma hora. Isto é especialmente relevante para as cheias rápidas, dado que uma hora de precipitação intensa não é suficiente para desencadear este tipo de inundação. Como é óbvio, também não o é para cheias progressivas. Como consequência, os níveis de propensão aqui apresentados para a estação de SJT não devem ser entendidos como limiares de precipitação, mas podem ser tomados como referências no que concerne às previsões de precipitação e aos sistemas de alerta de inundações urbanas.

De seguida procura-se confirmar a veracidade dos indícios apresentados pelas distribuições espaciais da precipitação máxima registada em 24 horas (figura 2.11) e dos sinistros APS durante o evento de 2008 (figura 5.20), que apontavam para uma relação pouco habitual entre os maiores quantitativos de precipitação e as maiores concentrações de sinistros APS. Para isso foram testados três métodos que visam a obtenção de um valor de precipitação para cada município, e para as quatro durações (1, 3, 6 e 24 horas) em que existem dados disponíveis em todas as 42 estações meteorológicas (figura 2.2). Os três métodos foram designados por estações de referência, média ponderada e localização dos sinistros APS, e foram explicados no ponto 5.1.4. Por outro lado, foram utilizados cinco indicadores a partir dos dados das seguradoras: sinistros APS/km², sinistros APS/km² edificado, indemnizações/km², indemnizações/km² edificado e perdas. Os três métodos de obtenção da precipitação a nível municipal para as quatro durações foram combinados com os cinco indicadores dos seguros. Concluiu-se que os coeficientes de correlação ($R = 0,84$) e de determinação ($R^2 = 0,71$) mais elevados resultaram do cruzamento entre a precipitação máxima em 24 horas e o número de sinistros APS/km² edificado. Estes valores comprovam a existência de uma relação bastante significativa entre a precipitação desencadeante e os sinistros APS nos municípios da AML durante o evento de 2008.

Importa compreender as razões pelas quais determinados indicadores produziram melhores resultados. Em primeiro lugar, o número de sinistros APS/km² edificado possibilitou a eliminação do efeito da área/superfície nos municípios de maior dimensão e/ou menos urbanizados. Isto permitiu colocar todos os concelhos da AML praticamente em posição de igualdade, ponderando o número de sinistros APS pela área que pode estar exposta a inundações. Note-se que, por se tratar de uma base de dados de seguradoras, só podem ser afectados os imóveis com apólices de seguro que, por sua vez, só existem em áreas edificadas.

Quanto à duração da precipitação máxima, e tendo apenas disponíveis quatro períodos em todas as estações, as 24 horas são as únicas que garantiam a cobertura total do período em que se registaram maiores quantitativos de precipitação durante o evento de 2008. Por exemplo, na estação de SJT, os valores horários de precipitação nunca foram inferiores a 6,7 mm entre as 2h e as 9h, o que significa que o segundo maior período (6 horas) não poderia abranger, na totalidade, o período de maior precipitação.

No que diz respeito aos métodos de obtenção da precipitação para cada município, aquele que, devido às suas características, produziu melhores resultados foi o da média ponderada. Este método utilizou os valores estimados de precipitação de todas as células (100 m^2) de cada concelho, produzindo um valor final que tem em consideração um número muito maior de valores, quando comparado com as outras duas metodologias. Isso confere-lhe confiabilidade e robustez. No caso do método da localização dos sinistros APS, este recorre apenas aos valores estimados de precipitação nas células em que se registaram sinistros APS. Ora, sabe-se que os sinistros resultantes de cheias/inundações dependem da precipitação ocorrida a montante, e não propriamente da precipitação que cai na localização exacta do sinistro. Por isso, o coeficiente de correlação foi o mais baixo dos três métodos: 0,76. Através do método das estações de referência alcançou-se um coeficiente de correlação semelhante ao do método da média ponderada (0,839 vs. 0,843). No entanto, trata-se de uma metodologia mais subjectiva na forma de obtenção do valor de precipitação, uma vez que se baseia na percepção do investigador sobre quais devem ser as estações de referência para cada concelho.

A obtenção de um coeficiente de correlação de 0,84 entre a precipitação e os dados das seguradoras para o evento de 2008 revelou um grau de associação relevante. Tal parece confirmar que a importância da precipitação neste evento foi maior comparativamente a outros eventos mais recorrentes. O coeficiente de determinação de 0,71 significa que 71% do número de sinistros APS/ km^2 edificado nos municípios da AML foram explicados pela precipitação registada em 24 horas. A percentagem que falta explicar (cerca de 29%) deveu-se a factores litológicos, geomorfológicos e hidrológicos e/ou a condições de carácter local, que fizeram com que determinados municípios tenham tido mais danos materiais. É importante relevar que valores desta ordem de grandeza só puderam ser alcançados devido à densa rede de estações meteorológicas (42) com dados horários disponíveis e à existência de um evento extremo de precipitação, que afectou, de forma mais ou menos intensa, todos os concelhos da AML e que foi capaz de gerar um número incomum de sinistros APS.

A posição dos 18 municípios da AML resultante da combinação entre a precipitação em 24 horas e o número de sinistros APS/ km^2 edificado para o evento de 2008 pode ser vista na figura 5.25. Optou-se apenas pela identificação dos oito concelhos com maior número de sinistros APS/ km^2

edificado por serem os mais relevantes neste contexto. Lisboa apresentou a maior quantidade de sinistros APS/km² edificado (3,9), sendo Odivelas o segundo (3,3), mas tendo o valor municipal de precipitação em 24 horas mais elevado (129,9 mm) (figura 5.25). Lisboa e três dos seus quatro municípios vizinhos (Odivelas, Oeiras e Loures) obtiveram resultados acima dos 2,5 sinistros APS/km² edificado. Cascais, Setúbal, Amadora e Sintra registaram valores entre 1 e 2,5.

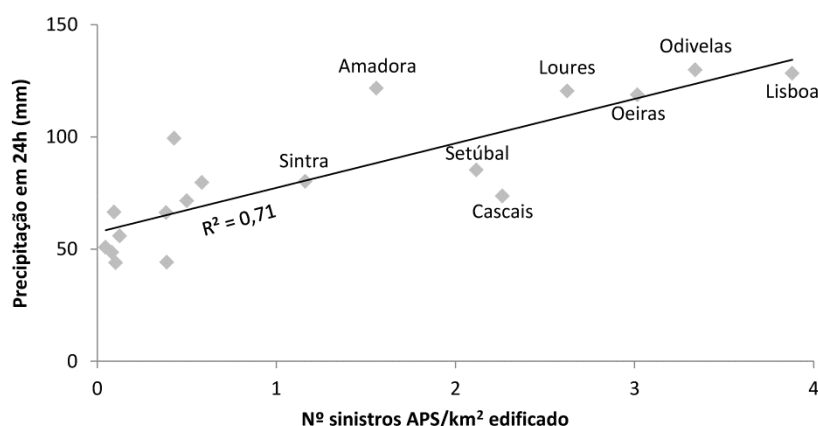


Figura 5.25 Relação entre a precipitação registada em 24h e o número de sinistros APS/km² edificado nos municípios da AML durante o evento de 2008

Outro aspecto relevante presente na figura 5.25 é a posição dos concelhos acima ou abaixo da linha de tendência definida. Como o valor de R^2 é significativo, a recta de tendência ajusta-se relativamente bem à distribuição dos pontos. Aqueles que se situaram abaixo da linha não necessitaram de valores tão elevados para terem um número elevado de sinistros APS, e o inverso ocorreu com os pontos situados acima da recta de tendência. Ao contrário da maioria, os sinistros APS dos *outliers* estiveram menos dependentes da precipitação. Dos oito municípios identificados, os que mais se afastaram da linha de tendência foram Amadora (*outlier* positivo) e Cascais (*outlier* negativo) (figura 5.25). Amadora até registou um valor de precipitação em 24 horas (121,6 mm) mais elevado do que Loures ou Oeiras, mas o seu número de sinistros APS/km² edificado (1,6) foi menor. Isto deve-se à sua posição geográfica, situado numa área correspondente aos sectores montante das bacias hidrográficas de Alcântara, Algés, Jamor e Trancão. Sendo um município onde se localizam os sectores jusante de diversas bacias, Cascais foi o caso oposto, pois registou o 9º valor de precipitação mais elevado (73,7 mm em 24 horas) e foi o 5º com maior número de sinistros APS/km² edificado (2,3) (figura 5.25). Tratando-se de um evento extremo de precipitação, o enquadramento geográfico dos municípios e a sua posição no contexto das bacias hidrográficas aparenta ser mais relevante do que quando ocorrem eventos com menores magnitudes. Estes indícios serão algo para analisar de seguida.

5.2.2. Resultados por tipo de inundação

5.2.2.1. Importância dos tipos de inundações nos danos materiais

A classificação dos sinistros APS localizáveis por tipos de inundação é fundamental para a compreensão da sua importância e da respectiva distribuição espacial na AML. Como se sabe, devido às suas características, nem todos os tipos de inundações produzem os mesmos danos materiais.

O primeiro aspecto a destacar é a ausência de sinistros APS causados por cheias progressivas durante o período 2000-2011, mesmo com a presença de um grande rio como o Tejo a atravessar a AML. Isto deveu-se a alguns factores: 1) a série de dados curta (12 anos), que reduz a probabilidade de ocorrência de cheias progressivas com elevada magnitude; 2) a larga planície aluvial, que atinge 10 km em Vila Franca de Xira (Azevêdo *et al.*, 2004), e o extenso estuário do Tejo, que atinge os 15 km no designado mar da Palha (Freire, 1999), causam a dispersão da água da cheia e a diminuição da sua altura; 3) o conhecimento por parte das populações locais, baseado em centenas de anos de cheias progressivas, que adaptaram as suas casas a estes fenómenos e utilizam a planície aluvial do Tejo para a agricultura e pastagens; 4) a capacidade de retenção das barragens construídas ao longo do rio, a gestão e coordenação eficiente das descargas entre Portugal e Espanha durante o século XXI e a existência de sistemas de alerta em caso de cheias, dando tempo para as populações salvaguardarem os seus pertences; 5) a existência de seguros agrícolas, não incluídos na base de dados APS; e 6) as limitações impostas pela utilização dos sinistros APS localizáveis, facto que, eventualmente, pode ter levado à não contabilização nesta análise de alguns sinistros APS que podem ter sido causados por cheias progressivas.

Assim, dos 1956 sinistros APS localizáveis registados na AML no período 2000-2011, 59% foram causados por FUNN, 36% por FREN e 5% por cheias rápidas. Estes valores revelam que os danos materiais estimados a partir da base de dados APS são, quase exclusivamente, causados por inundações urbanas (FREN ou FUNN). A maior frequência das FUNN (1148 sinistros APS) pode ajudar a explicar a forte relação entre os dados das seguradoras e as áreas edificadas, já que são inundações que nada têm a ver com a rede de drenagem natural, assim, como a fraca relação com a precipitação, pois estas não necessitam de valores muito elevados de precipitação para ocorrerem.

A reduzida importância das cheias rápidas neste contexto (103 sinistros APS) é, em grande medida, explicada pelas medidas estruturais implementadas nos cursos de água. A canalização subterrânea ou aterro de diversas ribeiras durante as décadas de 40, 50 e 60 do século XX e as intervenções de engenharia realizadas após o evento extremo de 1983 fizeram diminuir a perigosidade e exposição às cheias rápidas na AML. A perda de importância deste tipo de inundação, já tinha sido, aliás, verificada nos danos humanos durante as décadas finais do século passado (figuras 4.21, 4.22 e 4.23). Houve ainda outro factor que pode ter contribuído para o panorama dos

danos materiais causados por cheias rápidas no século XXI. Trata-se da importância das ocorrências passadas, e isto é particularmente relevante numa base de dados elaborada a partir das informações das seguradoras. Em locais que são inundados com alguma frequência, os prémios de seguros, ou seja, os montantes pagos pelos segurados às companhias de seguros, são mais elevados quando comparados com outros locais. Em alguns casos, estes prémios são muito elevados, o que faz com que os proprietários prefiram não fazer apólices de seguro. Tal significa que é, por vezes, nos locais mais críticos que não existem apólices de seguro. O mesmo pode acontecer nos locais frequentemente afectados por FREN.

Apesar de as FREN não terem sido tão frequentes (705 sinistros APS) quanto as FUNN, ao analisar as indemnizações pagas a situação inverteu-se. No período 2000-2011, as FREN motivaram o pagamento de 3.172.700 € (50% do total), as FUNN registaram 2.755.216 € em indemnizações (44% do total) e as cheias rápidas contabilizaram 387.356 € (6% do total). Ao ponderar o valor das indemnizações pelo número de sinistros APS, as FREN totalizaram 4500 €, as cheias rápidas 3761 € e as FUNN 2400 €. No que diz respeito às perdas, as FREN também registaram o valor mais elevado (2,7‰), seguidas das FUNN (1,8‰) e das cheias rápidas (1,1‰).

Assim, e apesar de as FUNN terem sido o tipo de inundação mais recorrente na AML durante o período estudado, as indemnizações pagas em consequência das FREN foram mais elevadas. Note-se que o valor médio das indemnizações por sinistro APS é 2100 € mais elevado nas FREN em relação às FUNN. Isto significa que as FREN atingiram maior magnitude, confirmando a sua teórica maior capacidade destruidora, em comparação com as FUNN. Pode, por isso, dizer-se que é mais provável existirem danos materiais associados às FUNN, devido à sua elevada frequência, mas é expectável que a gravidade desses danos seja maior em resultado das FREN. Quanto às cheias rápidas, mesmo não tendo uma importância significativa neste contexto, as indemnizações por sinistro APS aproximaram-se mais do valor das FREN do que do das FUNN. Tal pode indiciar, como é suposto considerando as características das cheias rápidas, uma elevada capacidade de causar danos materiais, muito superior à das FUNN. Todavia, as perdas foram as mais baixas dos três tipos de inundação, o que pode sugerir que as indemnizações tenham sido exponenciadas pelo elevado valor do capital afectado. E a verdade é que a ponderação do capital afectado pelo número de sinistros APS revelou que este valor foi mais alto, precisamente, para as cheias rápidas (3.371.576 €), se comparado com o das FREN (1.683.868 €) e o das FUNN (1.343.888 €).

Também no que respeita à importância dos tipos de inundação ao longo do ano, a precipitação não exerceu uma influência relevante (figura 5.26). Ou seja, as características típicas das precipitações que ocorrem numa determinada época do ano poderiam ditar que um tipo de inundação assumisse uma maior preponderância durante esses meses, e que essa situação se alterasse noutra altura do ano. Tal não se confirma, pois a distribuição intra-anual dos sinistros APS

não aponta para variações significativas, dando a entender que precipitações com diferentes características parecem ser capazes de desencadear tanto FREN, como FUNN (figura 5.26a). Por outro lado, e à semelhança dos valores totais, as FUNN são as mais frequentes em quase todos os meses. Exceptuando Junho e Setembro, a predominância na quantidade de sinistros APS foi sempre assegurada pelas FUNN.

Quanto às cheias rápidas, foram pouco relevantes em qualquer dos meses (figura 5.26a). No entanto, o facto de existirem sempre sinistros APS associados a cheias rápidas ao longo do ano pode sugerir que a importância deste tipo de inundação possa ter sido estimada por excesso, apesar de representarem apenas 5% do total. Isto é algo que está, por certo, relacionado com as limitações da informação disponível na base de dados e da dificuldade de validação através de trabalho de campo. Esta poderia ser realizada, por exemplo, através de entrevistas a moradores, mas, dada a dimensão da AML, a sua realização tornou-se impossível no âmbito desta dissertação. Tal como foi explicado no ponto 5.1.5, o facto de um sinistro APS se localizar numa área inundável por cheias rápidas, não significa que este tenha sido causado por esse tipo de inundação. A precipitação desencadeante pode não ter sido suficiente para que o curso de água extravasasse o seu leito normal, tendo o sinistro APS sido causado pela concentração e acumulação do escoamento superficial proveniente das ruas situadas nas vertentes. Na prática, verifica-se uma inundação ao longo de um fundo de vale, mas num nível superior ao do leito normal do curso de água.

A distribuição intra-anual no que concerne às indemnizações é semelhante à dos sinistros APS. No entanto, devido à sua maior capacidade para gerar danos materiais, percebe-se o maior peso das FREN em alguns meses como Fevereiro, Junho, Agosto, Outubro ou Novembro (figura 5.26b), comparativamente ao que sucedia para os sinistros APS (figura 5.26a).

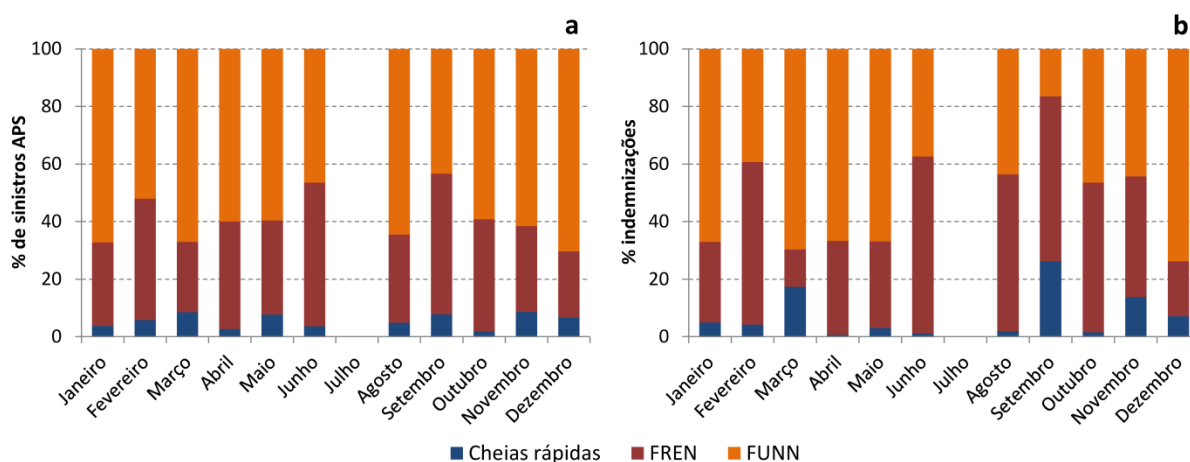


Figura 5.26 Importância relativa dos tipos de inundações em cada mês na AML (2000-2011):
a) sinistros APS; b) indemnizações.

O evento extremo de Fevereiro de 2008 teve um peso muito acentuado na base de dados APS. Todavia, a sua importância não se manifestou da mesma forma nos três tipos de inundações. Este evento contribuiu de modo mais significativo para os totais obtidos pelas FREN, pois 31% dos seus sinistros APS e 57% das suas indemnizações ocorreram durante o evento de 2008. Os números desceram para 21% dos sinistros APS e 42% das indemnizações no caso das FUNN e para 28% dos sinistros APS e 35% das indemnizações no caso das cheias rápidas.

De seguida demonstra-se a forma como um evento extremo de precipitação foi capaz de provocar alterações relativamente ao padrão habitual de cada tipo de inundação (figura 5.27). Relativamente aos sinistros APS, recorde-se que as FUNN contabilizaram 59% do total e as FREN 36% do total durante o período 2000-2011. Ao isolar os sinistros APS ocorridos durante o evento de 2008, verificou-se uma repartição mais equilibrada entre estes dois tipos de inundação (figura 5.27a). As FUNN mantiveram-se como as mais frequentes (50%), enquanto as FREN alcançaram 44%. Isto pode revelar que a importância das FREN aumenta quando ocorrem episódios de precipitação com maiores magnitudes. Já as cheias rápidas atingiram 6% do total de sinistros APS durante o evento de 2008, mantendo uma relação semelhante à obtida para o período 2000-2011 (5%). Se este evento não tivesse ocorrido, as FUNN teriam acentuado a sua importância durante o período 2000-2011, atingindo 62% do total de sinistros APS, enquanto as FREN contabilizariam 33% e as cheias rápidas 5% (figura 5.27a).

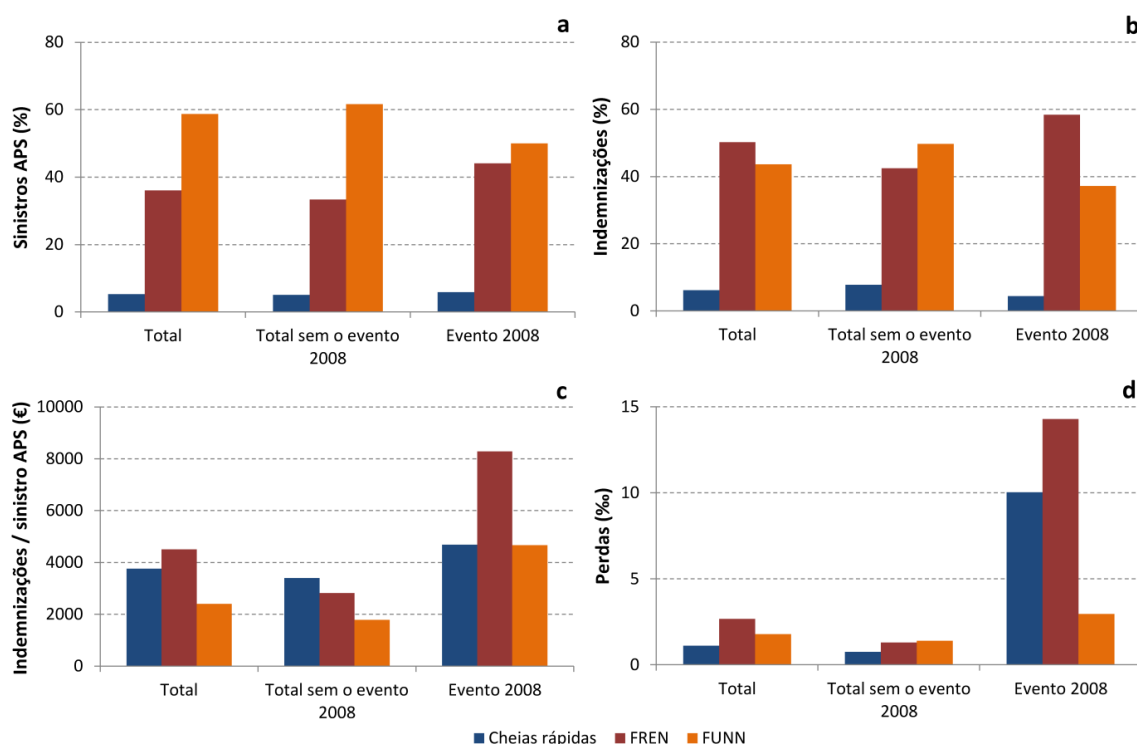


Figura 5.27 Danos materiais por tipo de inundação na AML (2000-2011): **a)** sinistros APS; **b)** indemnizações; **c)** indemnizações por sinistro APS; **d)** perdas.

Já foi dito que as FREN foram o tipo de inundação mais importante durante o período 2000-2011 na AML, no que diz respeito aos danos materiais propriamente ditos. Nesse período as FREN registaram 50% das indemnizações, mas o seu peso ainda se acentuou mais durante o evento de 2008. Aí as FREN totalizaram 58%, enquanto a importância das FUNN desceu de 44% para 37% e a das cheias rápidas de 6% para 5% (figura 5.27b). Constatou-se um maior distanciamento nas indemnizações entre as FREN e as FUNN durante o evento de 2008, o que, mais uma vez, demonstra a maior capacidade das FREN para gerar danos materiais. Este evento foi de tal modo relevante que, se este não tivesse sucedido, o padrão das indemnizações iria inverter-se, dado que as FUNN teriam tido maior importância na AML durante o período 2000-2011 do que as FREN (figura 5.27b). As FUNN teriam alcançado 50% das indemnizações, as FREN 42% e as cheias rápidas 8%.

O valor das indemnizações por sinistro APS demonstra a diferença imposta pelo evento de 2008 (figura 5.27c). O valor atingido pelas FREN durante o evento de 2008 representa o triplo das indemnizações em relação ao período de 2000-2011 sem este evento (8287 € vs. 2817 €). O valor das FUNN atingiu mais do dobro (4660€ vs. 1784 €), enquanto as cheias rápidas não alcançaram diferenças tão acentuadas (4684 € vs. 3399 €).

Não obstante as suas reconhecidas limitações, as perdas possibilitam a percepção da magnitude do evento de 2008, reflectindo-se nos resultados, sobretudo, das FREN e das cheias rápidas (figura 5.27d). As perdas nas FREN para o evento de 2008 foram cerca de 11 vezes superiores quando comparadas com as dos restantes eventos (14,3 ‰ vs. 1,3‰) e as das cheias rápidas foram cerca de 9 vezes superiores (10 ‰ vs. 1,1 ‰). Quanto às FUNN, a diferença foi bastante inferior (1,4 ‰ vs. 3 ‰). Curiosamente, excluindo o evento de 2008, foram as FUNN a registar o valor mais elevado dos três tipos de inundação considerados.

Os indicadores apresentados na figura 5.27 indicam que, durante o evento de 2008, o território assumiu um comportamento mais condizente com as suas características naturais. Isto é, numa área fortemente impermeabilizada é frequente verificarem-se inundações em locais onde não seria suposto existirem. Isto deve-se à presença de elementos que funcionem como obstáculo ao escoamento superficial, aos condicionamentos impostos pela malha urbana ou à falta de limpeza e manutenção dos sistemas de drenagem de águas pluviais. Quando ocorre um evento extremo de precipitação, como o de Fevereiro de 2008, as inundações nesses locais também se verificam, mas o número de inundações ocorridas nos sectores em que, em termos naturais, se deveriam verificar (fundos de vale) é superior. Pode dizer-se que, em situações de precipitações intensas, as áreas urbanizadas aproximam-se mais de um funcionamento natural, em que o escoamento superficial se dirige e acumula nos fundos de vale, mesmo que os cursos de água se encontrem canalizados subterraneamente ou aterrados. Assim, os episódios de precipitação mais recorrentes têm tendência para gerar FUNN e os eventos de precipitação de maior magnitude mais facilmente provocam FREN.

No entanto, é importante salientar que as precipitações com baixo período de retorno também podem gerar FREN e que os eventos com magnitudes elevadas irão sempre causar FUNN. Quanto às cheias rápidas, é sabido que a realidade pode não estar totalmente reflectida nos resultados apresentados por duas razões que actuam em sentidos opostos. Por um lado, registaram-se menos sinistros APS causados por cheias rápidas num evento extremo de precipitação do que seria expectável, tendo em conta a sua magnitude. Relembre-se que, quanto maior for a probabilidade de um edifício ser afectado por um fenómeno natural, maior será o prémio cobrado pela companhia de seguros, o que faz com que alguns proprietários não tenham seguros. Daqui pode resultar na existência de diversas áreas que foram afectadas e que não constam na base de dados APS. Por outro lado, estima-se que o número de sinistros APS desencadeados por cheias rápidas esteja estimado por excesso devido às limitações metodológicas descritas.

5.2.2.2. Distribuição espacial

Na AML, 59% dos sinistros APS no período 2000-2011 foram causados por FUNN, 36% por FREN e 5% por cheias rápidas. Os valores foram, praticamente, iguais tanto na AML Norte (58% FUNN, 36% FREN e 6% cheias rápidas) como na AML Sul (59% FUNN, 36% FREN e 5% cheias rápidas), denotando um padrão semelhante nas cheias/inundações com danos materiais.

A contabilização do número de sinistros APS em cada município que tinha sido mostrada apontava Lisboa como o principal concelho da AML no que respeita a cheias e inundações com danos materiais, ao qual se seguiam Cascais, Sintra, Loures e Oeiras (figura 5.9a). A mesma realidade pode ser vista na figura 5.28a, mas repartida pelos diferentes tipos de inundação. Tal como para a globalidade da AML, também na distribuição municipal se assistiu ao predomínio das FUNN, com este tipo de inundação a representar mais de 50% dos sinistros APS em quase todos os concelhos (figura 5.28b). As únicas excepções foram Palmela, Setúbal e Vila Franca de Xira. Em Lisboa a quantidade de sinistros APS causados por FUNN (53%) e FREN (47%) foi idêntica. Por outro lado, Setúbal foi o único município da AML em que as FREN totalizaram mais de metade dos sinistros APS (61%). Em termos percentuais, Vila Franca de Xira e Odivelas foram os concelhos cuja importância das cheias rápidas foi maior (15% e 14%, respectivamente), mas a maior quantidade de sinistros APS foi registada em Sintra (22) e em Cascais (20).

Ao contrário dos sinistros APS, no caso das indemnizações existiram diferenças entre a AML Norte e a AML Sul. 52% das indemnizações pagas na AML Norte deveram-se às FREN, 45% às FUNN e 4% às cheias rápidas. Quanto às indemnizações da AML Sul, 43% foram desencadeadas por FREN, 40% por FUNN e 17% por cheias rápidas. A maior importância das cheias rápidas na AML Sul deveu-

se, essencialmente, a quatro sinistros APS registados no Parque Industrial do Seixal, em Paio Pires, cujas indemnizações pagas foram substanciais, em função do elevado capital afectado/segurado.

A contabilização das indemnizações em cada município foi apresentada na figura 5.10a. Até pela maior quantidade de sinistros APS, Lisboa foi o concelho que mais se destacou nas indemnizações, seguido de Oeiras, Cascais, Setúbal, Loures e Sintra. A mesma realidade pode ser vista na figura 5.29a, embora dividida pelos diferentes tipos de inundação. A maior relevância das FREN no contexto geral da AML também se reflectiu em diversos municípios. Mais de metade das indemniza es nos concelhos de Odivelas (80%), Palmela (78%), Vila Franca de Xira (68%), Sesimbra (61%), Lisboa (58%) e Setúbal (58%) foram provocadas pelas FREN, tendo sido também este tipo de inunda o o mais representativo em Oeiras e Loures (ambos com 48%) (figura 5.29b). O peso das indemniza es geradas por cheias rápidas foi mais notório no Seixal, pela razão já explicada.

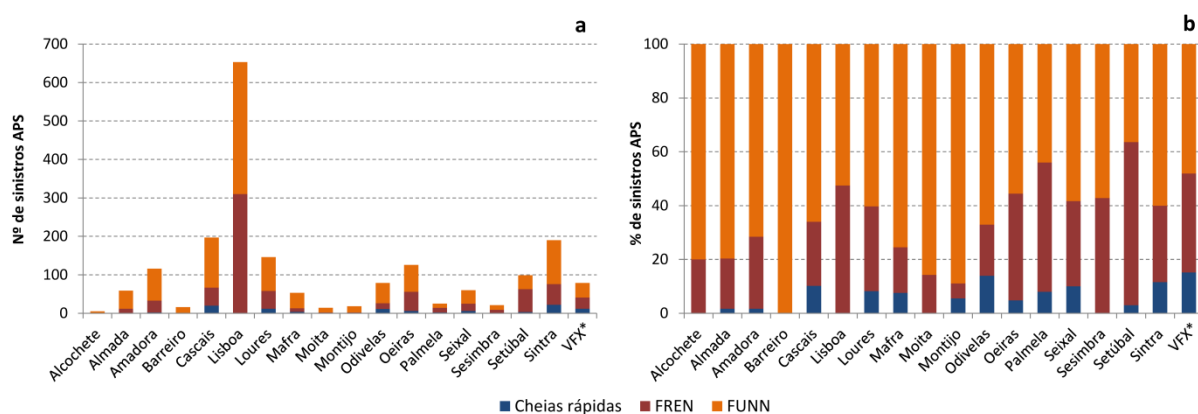


Figura 5.28 Sinistros APS por tipo de inunda o nos municípios da AML (2000-2011):
a) número de sinistros APS; **b)** percentagem por município.
 * VFX - Vila Franca de Xira.

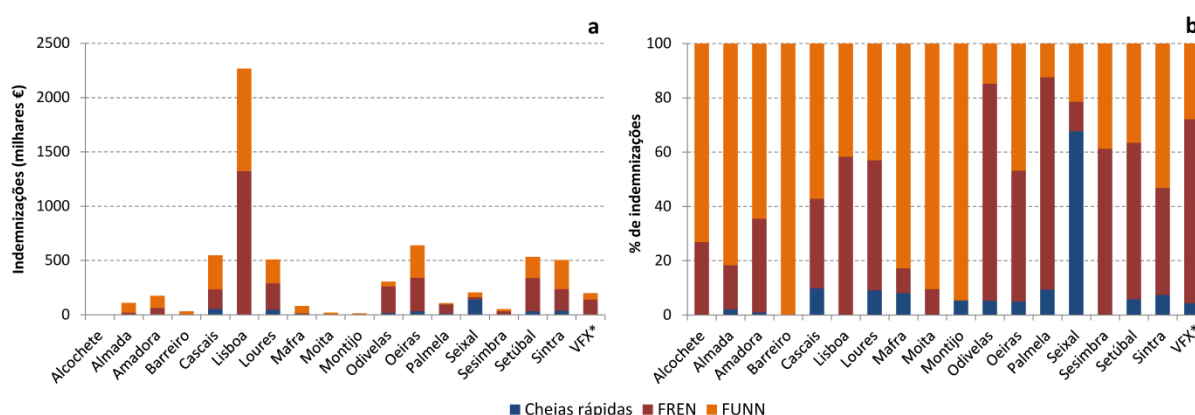


Figura 5.29 Indemniza es por tipo de inunda o nos municípios da AML (2000-2011):
a) indemniza es em euros; **b)** percentagem por município.
 * VFX - Vila Franca de Xira.

Considerando que 59% dos sinistros APS ocorridos no período 2000-2011 se deveram às FUNN, ou seja, a inundações que em nada estiveram relacionadas com a rede de drenagem natural, optou-se pela representação dos valores incluídos nas bacias hidrográficas apenas nesta fase.

No período estudado, 1670 sinistros APS (85% dos sinistros APS localizáveis) situaram-se dentro dos limites das 68 bacias hidrográficas identificadas na AML, com áreas acima de 2 km². Recorde-se que estas representam 85% do território da AML. Foram registados sinistros APS em 50 das 68 bacias, o que significa que 74% tiveram, pelo menos, um sinistro APS durante o período considerado. Em termos absolutos, Alcântara (419 sinistros APS; 21% do total), Trancão (209 sinistros APS; 11% do total) e Baixa Lisboa (109 sinistros APS; 6% do total) foram as três bacias que totalizaram mais sinistros APS no período 2000-2011 (figura 5.30). Seguiram-se Jamor (84), Livramento (73), Barcarena (66), Laje (62), Algés (49), Chelas (46) e Coina (44). A maioria das bacias mais importantes da AML, quer a nível das características físicas, quer do ponto de vista do historial de cheias e inundações, foram aquelas que registaram a maior quantidade de situações que despoletaram danos materiais.

Por outro lado, ao ponderar os resultados pela área de cada bacia hidrográfica, os valores mais elevados foram registados nas bacias da Estrela (18 sinistros APS/km²), Baixa Lisboa (18 sinistros APS/km²), Alcântara (10 sinistros APS/km²), Chelas (6 sinistros APS/km²), Portela (5 sinistros APS/km²), Monte Estoril, Algés, Marianas (4 sinistros APS/km²), Livramento e Cadaveira (3 sinistros APS/km²). O aparecimento nesta lista de outras bacias hidrográficas é explicado pela sua menor dimensão em comparação com as referidas no parágrafo anterior e pela sua localização coincidente com o município com maior concentração de sinistros APS (Lisboa), com um dos eixos ferroviários de expansão urbana (Cascais) e/ou com áreas críticas (baixas de Setúbal ou de Algés) (figura 5.16).

A associação entre sinistros APS e o respectivo tipo de inundação desencadeante nas bacias hidrográficas desta região revelou que, em 36 das 50 bacias com sinistros APS (72%), as FUNN foram responsáveis por 50% ou mais das situações com danos materiais (figura 5.30). Pode, por isso, dizer-se que as inundações desencadeadas ou relacionadas com a rede de drenagem natural (cheias rápidas ou FREN) foram mais importantes em apenas 14 bacias (figura 5.30). No caso específico das FREN, estas só foram predominantes em Algés (67%) e no Livramento (75%) (figura 5.30), algo que pode ser explicado pela presença das baixas de Algés e de Setúbal, edificadas sobre os sectores das respectivas ribeiras (canalizadas subterraneamente). As bacias da Ajuda (3 sinistros APS) e de Alfarim (1 sinistro APS) também poderiam ter sido aqui incluídas, no entanto, os seus reduzidos números de sinistros APS não permitem estabelecer tendências.

Por um lado, a grande relevância das FUNN nas inundações com danos materiais na AML aponta para uma realidade pouco dependente da rede de drenagem natural e, como consequência, das bacias hidrográficas. Por outro lado, a maior quantidade de sinistros APS ocorreu nas bacias em

que era expectável que isso sucedesse, fruto das suas condições naturais e antrópicas, e também dos seus antecedentes no que concerne a cheias/inundações. Daqui parece resultar uma combinação de factores que não pode ser dissociada, porque, muitas vezes, actuam em conjunto. A maior concentração e/ou quantidade de sinistros APS na AML está dependente: 1) da densidade e das características das áreas impermeabilizadas, que fazem aumentar o volume e velocidade do escoamento superficial e que podem direccionar e contribuir para a acumulação de fluxos em determinados locais; 2) das características hidro-geomorfológicas e litológicas das bacias hidrográficas; 3) do (sub)dimensionamento e da limpeza/manutenção das redes de águas pluviais; 4) da acção da maré alta nos sectores terminais das bacias; e 5) da existência de pontos ou áreas críticas que decorrem da acção combinada de alguns ou de todos os quatro pontos referidos antes. Dito isto, a quantidade e a localização das inundações que resultaram em danos materiais nas bacias hidrográficas da AML depende, em parte, das suas características físicas, mas, sobretudo, da existência de aglomerados urbanos dentro dos seus limites. Teoricamente, quanto maior for a área urbanizada, maior será a área impermeabilizada e maior será a exposição a inundações. Ao definir uma relação de tipo logarítmico entre o número de sinistros APS/km² e a percentagem de áreas edificadas de cada bacia, obteve-se uma correlação de 0,85 ($R^2 = 0,72$). Há sempre que considerar a existência de áreas críticas, que em algumas bacias hidrográficas (como Algés e Livramento) foram fundamentais para a quantidade total de sinistros APS aí localizados.

Os 1670 sinistros APS localizados dentro dos limites das bacias hidrográficas da AML geraram 5.577.255 € em indemnizações (88% das indemnizações pagas para os sinistros APS localizáveis). Foram pagas indemnizações em 49 das 68 bacias. Na bacia de Povos não foi paga qualquer indemnização aquando do único sinistro APS contabilizado. As três bacias com mais cheias/inundações foram também as que somaram mais danos materiais (figuras 5.30 e 5.31): Alcântara (1.239.734 €; 22% do total), Trancão (825.981 €; 15% do total) e Baixa Lisboa (647.334 €; 12% do total). Seguiram-se Algés, Livramento, Barcarena, Laje, Coina, Marianas e Jamor (figura 5.30). Com excepção da bacia das Marianas, as referidas são também as que contabilizaram mais sinistros APS, embora, somando os valores das indemnizações, surjam por outra ordem. Enquanto Algés subiu de 8º para 4º na hierarquia, Jamor desceu de 4º para 10º.

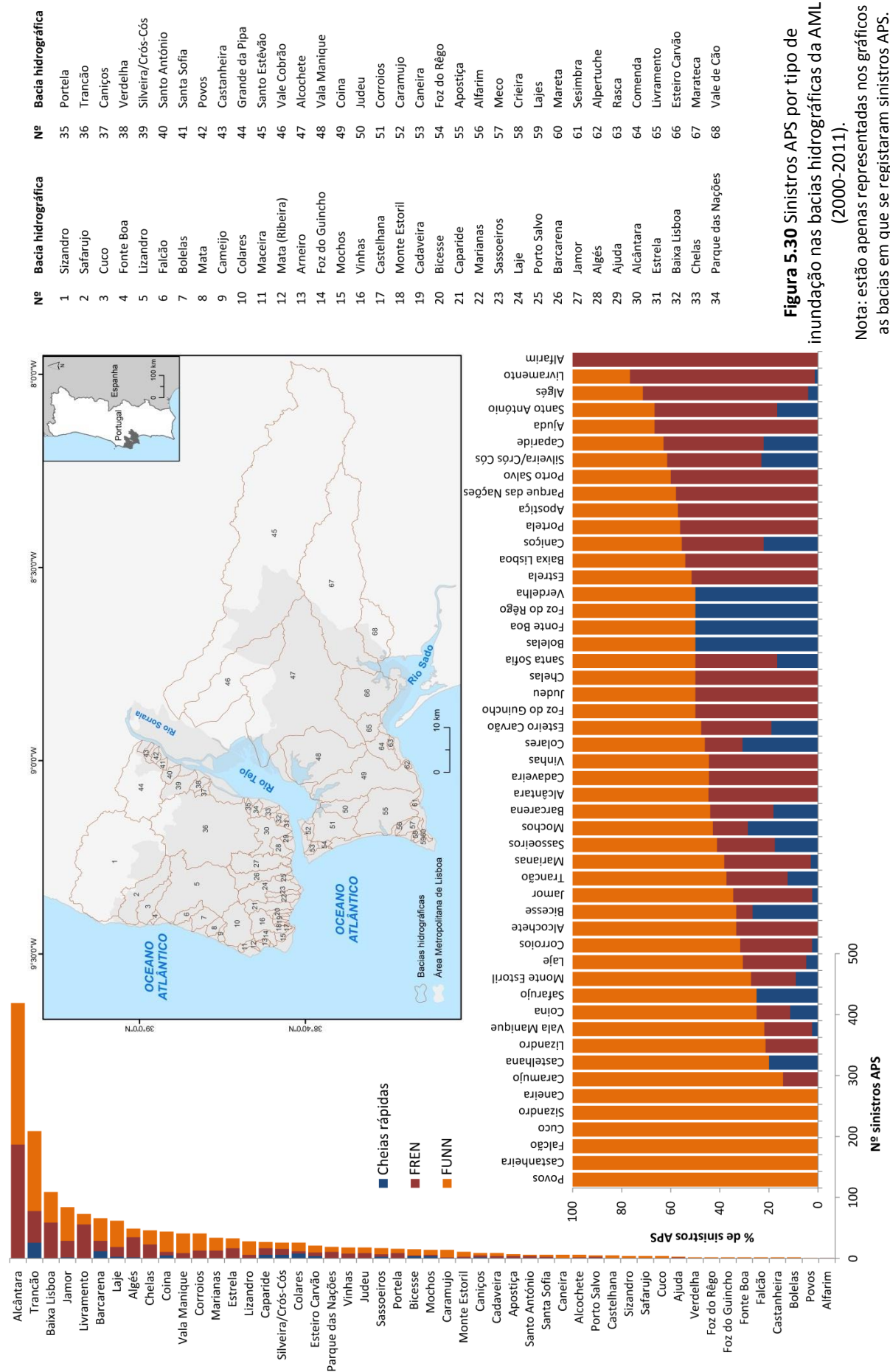
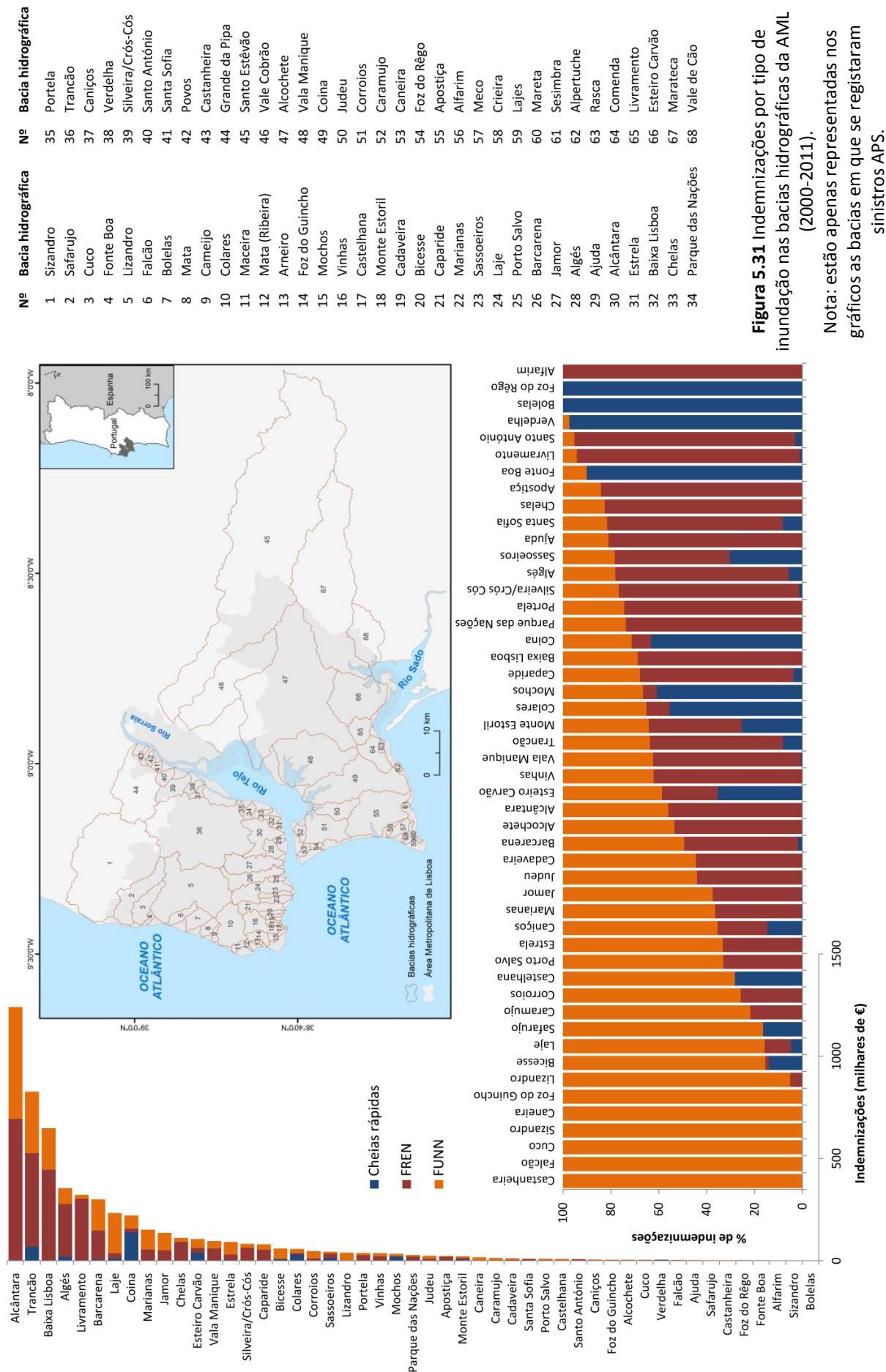


Figura 5.30 Sinistros APS por tipo de inundação nas bacias hidrográficas da AML (2000-2011).

Nota: estão apenas representadas nos gráficos as bacias em que se registaram sinistros APS.



Como já foi referido, as indemnizações pagas numa determinada área dependem de alguns factores. Em primeiro lugar, da quantidade de sinistros APS, o que explica a semelhança na hierarquia entre sinistros APS e indemnizações. Dependem também do capital afectado aquando da cheia/inundação, factor especialmente importante no caso da bacia de Coima, em que se verificaram indemnizações substanciais em função do elevado capital afectado/segurado no Parque Industrial do Seixal, em Paio Pires. Por outro lado, as indemnizações dependem do volume, altura e velocidade atingidos pelo escoamento superficial, remetendo para as diferenças dos três tipos de inundação. Por conseguinte, e sendo mais afectada por FREN, a bacia de Algés assumiu uma maior importância na questão das indemnizações se comparada com os sinistros APS. Para além disso, há que não esquecer a avaliação feita pelos peritos das companhias de seguros quando os seguros são accionados.

Se, no âmbito dos sinistros APS, as FUNN causaram 50% ou mais das situações em 36 das 50 bacias hidrográficas, no que diz respeito às indemnizações, esse número baixou para 21 (43%) (figura 5.31). Isto revela uma menor importância das FUNN, como consequência da maior relevância, sobretudo, das FREN, mas também das cheias rápidas. Nas bacias da Baixa Lisboa, Parque das Nações, Portela, Silveira/Crós Cós, Algés, Santa Sofia, Chelas, Apostiça, Livramento e Santo António as indemnizações geradas pelas FREN ultrapassaram 2/3 dos respectivos totais (figura 5.31). Mais uma vez, as bacias da Ajuda e de Alfarim não foram incluídas neste grupo devido ao número reduzido de sinistros APS. A distribuição dos sinistros APS e das indemnizações por bacia hidrográfica confirmou, novamente, a maior capacidade das FREN na geração de danos materiais quando comparadas com as FUNN. No caso das cheias rápidas, as indemnizações causadas por este tipo de inundação ultrapassaram mais de metade dos respectivos totais nas bacias de Colares (55%), Mochos (61%) e Coima (63%) (figura 5.31). Devido ao número diminuto de sinistros APS ocorridos em Fonte Boa, Verdelha, Bolelas e Foz do Rêgo, não se pôde considerar a predominância das cheias rápidas nestas bacias.

A distribuição espacial dos sinistros APS localizáveis por tipo de inundação pode ser vista na figura 5.32. Os sinistros APS provocados por cheias rápidas, embora tenham tido pouca expressão no período 2000-2011, distribuíram-se pela maioria dos municípios da AML (14) (figura 5.32). Note-se que as opções de ordenamento do território tomadas ao longo das décadas influenciaram de forma significativa a distribuição espacial e a quantidade actual de situações ligadas a este tipo de inundação. Ao canalizar subterraneamente ou aterrar os cursos de água, as cheias rápidas deixaram de existir nesses locais, sendo substituídas pelas FREN. Assim, os concelhos em que ainda existem linhas de água à superfície (como Sintra, Cascais, Vila Franca de Xira, Loures ou Odivelas) foram aqueles que apresentaram o maior número de sinistros APS causados por cheias rápidas, sobretudo se forem comparados com Lisboa, em que essa realidade é quase inexistente. Em contraponto, as

FREN foram muito relevantes na capital durante o período estudado (figura 5.32). A distribuição espacial deste tipo de inundação correspondeu aos alinhamentos das antigas ribeiras da AML, actualmente canalizadas subterraneamente ou aterradas. As FREN corresponderam a uma parte importante das inundações com danos humanos em quase todos os municípios da AML, embora a sua relevância tenha sido maior em Lisboa, Palmela e Setúbal. Quanto às FUNN, ao não ser confinadas aos fundos de vale, ocorreram um pouco por toda a AML, estando apenas dependentes da existência de áreas edificadas. Como tal, a sua distribuição espacial foi mais dispersa em comparação com os restantes tipos de inundação, apesar de se assinalarem maiores concentrações nos concelhos mais construídos.

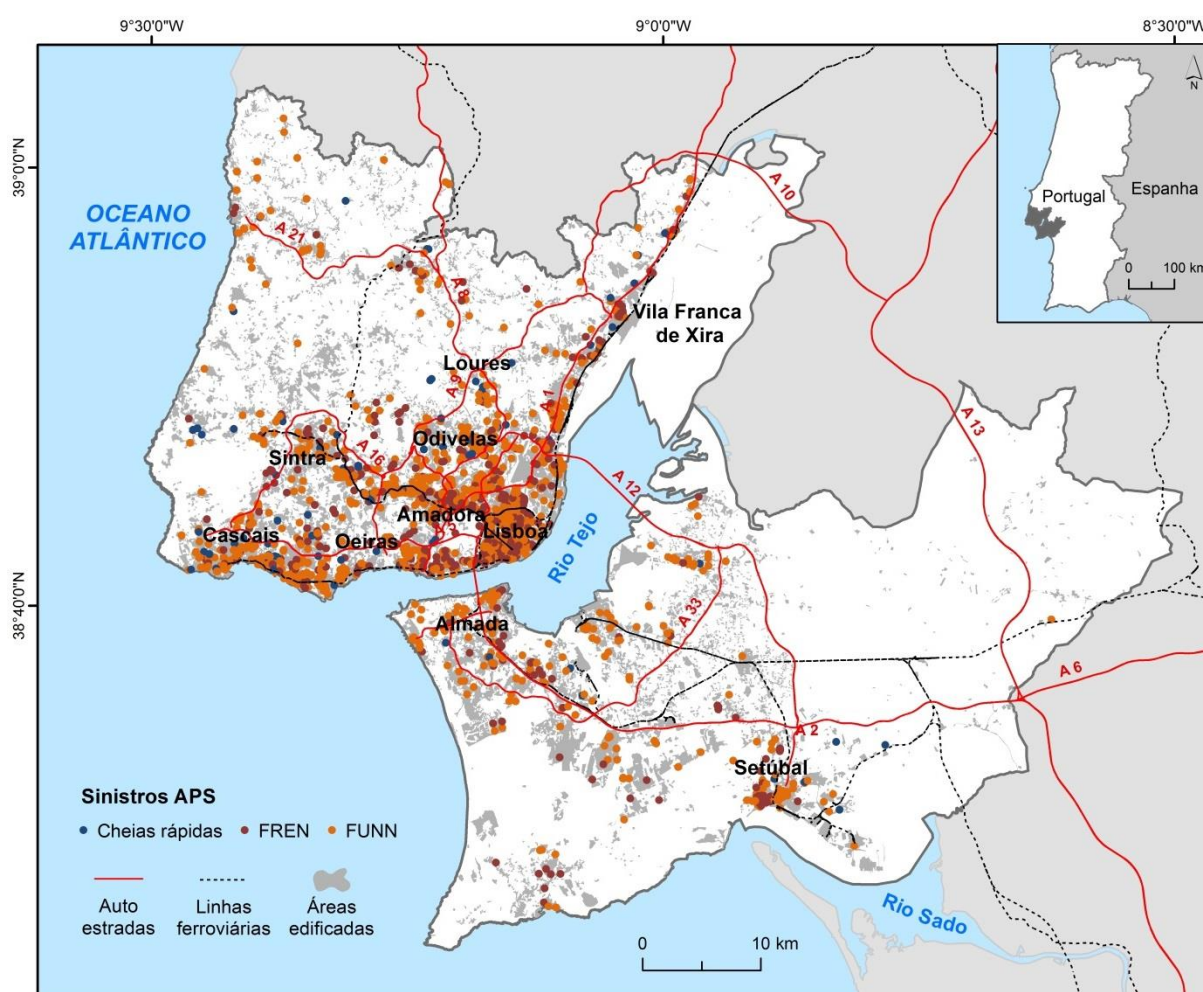


Figura 5.32 Distribuição espacial dos sinistros APS por tipo de inundação na AML (2000-2011).

SÍNTESE DO CAPÍTULO 5

Os danos materiais resultantes de cheias/inundações na AML no período 2000-2011 foram estimados com recurso à base de dados APS, construída a partir das participações de sinistros referentes a cerca de 60% das apólices de seguro existentes em Portugal. A AML contabilizou 18% dos sinistros APS, 12% do capital afectado e 21% das indemnizações pagas a nível nacional. Estas percentagens corresponderam a 3676 sinistros APS, a 9.898.256.607 € em capital afectado e a 13.410.434 € em indemnizações, sendo causados por 134 eventos de cheias/inundações.

A presença de um evento extremo de precipitação, como o ocorrido a 18 de Fevereiro de 2008, numa base de dados com duração de quase 12 anos exerceu uma influência acentuada nos resultados. Este evento causou 867 sinistros APS (24% do total) e 5.326.942 € em indemnizações (40% do total). Isto significa que, durante este evento, foram contabilizados 10 vezes mais sinistros APS do que no segundo evento mais importante e o montante referente às indemnizações foi cerca de 20 vezes mais elevado. O número de sinistros APS decorrente deste evento extremo foi superior ao do somatório dos quatro primeiros anos da base de dados (2000 a 2003), enquanto o valor das indemnizações foi superior ao da totalidade dos oito primeiros anos da base de dados (2000 a 2007).

A repartição espacial dos sinistros APS na AML no período 2000-2011 revelou quatro aspectos essenciais: 1) um contraste significativo entre a AML Norte e AML Sul, com 84% dos sinistros APS e 83% das indemnizações a ocorrerem na AML Norte; 2) uma grande concentração de pontos no concelho de Lisboa (32% do total); 3) alinhamentos de sinistros APS ao longo das três principais linhas ferroviárias da AML Norte (Cascais, Sintra e Vila Franca de Xira) e da estrada nacional 8/auto-estrada A8 (Odivelas e Loures); e 4) a existência de sectores problemáticos em alguns locais específicos como as baixas de Algés, Sacavém e Setúbal. Lisboa foi, claramente, o município mais afectado da AML no que respeita aos danos materiais causados por cheias/inundações, contudo, dentro de cada concelho existem diferentes realidades. O contexto físico e/ou de ocupação do solo propiciaram elevadas densidades de sinistros APS em algumas áreas dos municípios, algo que foi possível apurar através da sua representação por código postal.

85% dos sinistros APS localizaram-se dentro dos limites das 68 bacias definidas para a AML. Foram identificados sinistros APS em 50 bacias e foram pagas indemnizações em 49. Em termos absolutos, aquelas que registaram mais situações de cheias/inundações com danos materiais foram Alcântara, Trancão e Baixa Lisboa, todavia, bacias como Estrela, Algés, Livramento ou Chelas também se mostraram relevantes, depois dos valores serem ponderados pela área.

Foram identificados 44 sectores/pontos críticos na AML que, entre si, somaram 200 sinistros APS (10% do total de sinistros APS localizáveis). Os maiores destaques foram a Praça da República (16

sinistros APS), em Sacavém; o Campo Pequeno (9 sinistros APS), em Lisboa; a Rua General Humberto Delgado (8 sinistros APS), em Algés; e a Avenida Gomes Pereira (8 sinistros APS), em Lisboa.

Ao contrário do que sucedeu para os danos humanos, existentes, por norma, em resultado precipitações com elevada magnitude, no caso dos danos materiais estes ocorreram com muito maior frequência, podendo acontecer mesmo quando se registam eventos de precipitação de baixa ou média magnitude. Se a relação entre as precipitações diárias e o número de sinistros APS é pouco relevante ($R = 0,55$), a relação entre a precipitação anual da estação de SJT e o número de eventos APS em cada hidrológico foi significativa ($R = 0,92$). Isto explica a importância dos anos húmidos na quantidade anual de eventos APS. Apesar da intensidade da precipitação não explicar a quantidade de sinistros APS registados num evento, o mesmo não sucede no que diz respeito à ocorrência de eventos APS. Foi possível identificar três níveis de propensão para ocorrência de inundações a partir das precipitações horárias de SJT: 5-7 mm/hora; 7,1-10,5 mm/hora; e acima de 10,5 mm/hora.

Por outro lado, a quantidade e a localização das cheias/inundações com danos materiais no período 2000-2011 estiveram directamente dependentes das áreas edificadas. Os municípios que possuem uma maior superfície ocupada por áreas construídas foram, regra geral, os que registaram o maior número de sinistros APS. As fortes associações obtidas entre a percentagem de áreas edificadas de cada concelho e o respectivo número de sinistros APS/km² ($R = 0,94$) e as indemnizações/km² ($R = 0,88$) demonstraram a dependência referida. Ao isolar o evento de 2008, os coeficientes de correlação resultantes das mesmas variáveis desceram para 0,83 e 0,72, respectivamente, indicando uma menor dependência dos danos materiais face às áreas edificadas aquando da existência de um evento extremo de precipitação. Em contraponto, foi obtida uma relação mais forte do que o habitual entre a precipitação e os dados das seguradoras para o evento de 2008. O coeficiente de correlação entre a precipitação máxima em 24 horas e o número de sinistros APS/km² edificado em cada município da AML foi de 0,84 ($R^2 = 0,71$).

Constatou-se um predomínio das FUNN no número de sinistros APS (59% do total) e uma maior importância das FREN nas indemnizações (50% do total) no período 2000-2011. As cheias rápidas causaram apenas 5% dos sinistros APS e 6% das indemnizações. Considerando apenas o evento de Fevereiro de 2008, os dados revelaram que as FREN assumiram um papel ainda mais relevante neste contexto, tal como as cheias rápidas, especialmente no valor das indemnizações por sinistro APS e nas perdas. Assistiu-se, portanto, a uma perda de importância das FUNN durante o evento de 2008 comparativamente ao sucedido nos restantes eventos. Isto leva a crer que a AML assumiu um funcionamento mais natural durante um evento extremo de precipitação, pois contabilizaram-se mais inundações nos antigos fundos de vale, estando, por isso, o comportamento do território menos condicionado/dependente da influência antrópica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - CAPÍTULO 5

- Archetti, R., Bolognesi, A., Casadio, A., Maglionico, M., 2011. Development of flood probability charts for urban drainage network in coastal areas through a simplified joint assessment approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 3115–3122. doi:10.5194/hess-15-3115-2011
- Azevêdo, T.M., Nunes, E., Ramos, C., 2004. Some morphological aspects and hydrological characterization of the Tagus floods in the Santarém Region, Portugal. *Nat. Hazards* 31, 587–601. doi:10.1023/B:NHAZ.0000024892.61336.ec
- Bernet, D.B., Prasuhn, V., Weingartner, R., 2017. Surface water floods in Switzerland: What insurance claim records tell us about the damage in space and time. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 17, 1659–1682. doi:10.5194/nhess-17-1659-2017
- Chen, W.B., Liu, W.C., 2014. Modeling flood inundation induced by river flow and storm surges over a river basin. *Water (Switzerland)* 6, 3182–3199. doi:10.3390/w6103182
- Cherqui, F., Belmeziti, A., Granger, D., Sourdril, A., Le Gauffre, P., 2015. Assessing urban potential flooding risk and identifying effective risk-reduction measures. *Sci. Total Environ.* 514, 418–425. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.02.027
- Condon, A.J., Sheng, Y.P., 2012. Evaluation of coastal inundation hazard for present and future climates. *Nat. Hazards* 62, 345–373. doi:10.1007/s11069-011-9996-0
- Freire, P., 1999. Evolução morfo-sedimentar de margens estuarinas (estuário do Tejo, Portugal). Doutoramento em Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- Goudenhoofdt, E., Delobbe, L., 2013. Statistical characteristics of convective storms in Belgium derived from volumetric weather radar observations. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 52, 918–934. doi:10.1175/JAMC-D-12-079.1
- Leal, M., 2011. As cheias rápidas em bacias hidrográficas da AML Norte: factores condicionantes e desencadeantes. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- Merz, B., Kreibich, H., Thielen, A., Schmidtke, R., 2004. Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 4, 153–163. doi:https://doi.org/10.5194/nhess-4-153-2004
- Ramos, C., Reis, E., 2002. Floods in Southern Portugal: Their Physical and Human Causes. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 7, 267–284. doi:https://doi.org/10.1023/A:1024475529524
- Spekkers, M.H., Kok, M., Clemens, F.H.L.R., Ten Veldhuis, J.A.E., 2013a. A statistical analysis of insurance damage claims related to rainfall extremes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 913–922. doi:10.5194/hess-17-913-2013
- Spekkers, M.H., Zhou, Q., Arnbjerg-Nielsen, K., Veldhuis, M.-C., 2013b. Correlations between rainfall data and insurance damage data related to sewer flooding for the case of Aarhus, Denmark. *Int. Conf. Flood Resilience, Exp. Asia Eur.* 5-7 Sept. 2013, Exet. UK.
- Zhou, Q., Panduro, T.E., Thorsen, B.J., Arnbjerg-Nielsen, K., 2013. Verification of flood damage modelling using insurance data. *Water Sci Technol* 68, 425–432. doi:http://doi.org/10.2166/wst.2013.268

PARTE III

CHEIAS RÁPIDAS

NA BACIA HIDROGRÁFICA DE BARCARENA

CAPÍTULO 6

COMPONENTES DO RISCO E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

A avaliação e a cartografia do risco são fundamentais para efectuar um correcto ordenamento do território e desenvolver estratégias de emergência em caso de ocorrência de cheias (Julião *et al.*, 2009). Ao longo da Parte III desta dissertação serão abordadas as várias componentes do risco: susceptibilidade, perigosidade, exposição, vulnerabilidade, valor dos elementos expostos e danos/perdas causados.

Para se efectuar uma correcta determinação do risco e das suas componentes é necessário, antes de mais, compreender os respectivos conceitos e métodos de avaliação, assim como as principais vantagens e desvantagens. É esse o principal objectivo do capítulo 6, dando especial atenção às cheias rápidas enquanto fenómeno natural.

6.1. SUSCEPTIBILIDADE

A susceptibilidade representa a propensão para uma área ser afectada por um determinado perigo, não contemplando o seu período de retorno ou probabilidade de ocorrência (Brabb, 1984; Soeters e van Westen, 1996; Julião *et al.*, 2009). Esta componente do risco não aborda a dimensão temporal dos fenómenos naturais, tendo apenas em conta a sua dimensão espacial. A susceptibilidade permite responder essencialmente à questão “onde?” é que esses fenómenos podem ocorrer na área de estudo. Esta componente do risco fornece ainda a noção de probabilidade espacial e de intensidade relativa. A porção de território afectada varia em função do fenómeno natural analisado, pois a sua extensão pode diferir de forma substancial. Se um sismo afecta toda uma região, um país ou até um conjunto de países, embora o faça de forma diferenciada consoante a distância ao epicentro e as características do substrato geológico, uma cheia afecta os canais fluviais e as respectivas margens. Trata-se, portanto, de um processo natural muito mais localizado, apesar de, como já se viu, as suas consequências humanas e materiais poderem ser significativas. Neste âmbito, a dimensão das bacias hidrográficas também tem influência na extensão das áreas inundáveis e na susceptibilidade. Nas grandes bacias verificam-se cheias progressivas, alagando extensas planícies aluviais em alguns troços dos rios, enquanto as pequenas bacias são afectadas por cheias rápidas, cujos leitos de cheia são, por norma, áreas relativamente circunscritas.

A susceptibilidade às cheias pode ser encarada de três formas distintas, mas complementares. A primeira olha para a susceptibilidade como a definição das áreas inundáveis, numa perspectiva normalmente baseada nos elementos morfológicos dos fundos de vale e nas características geomorfológicas e hidrológicas dos leitos fluviais. Ou seja, as áreas inundáveis são definidas pelos limites máximos das planícies de inundação ou leitos de cheia, correspondendo ao caudal da cheia máxima provável (Ramos, 2009). Uma vez que as cheias implicam sempre o trasbordo da água do canal fluvial (leito menor ou ordinário) para a planície aluvial (leito maior ou de cheia), toda esta área é considerada igualmente susceptível e, por isso, o nível de susceptibilidade é considerado igual em toda a sua extensão. As áreas inundáveis podem ser delimitadas pela superfície ocupada pelas aluviões ou, em alternativa, pelo alastramento do escoamento fluvial para as áreas planas ou com fracos declives adjacentes aos cursos de   gua.

A segunda e a terceira formas de avaliação da susceptibilidade às cheias tomam em consideração a totalidade da bacia hidrográfica analisada e as componentes que interferem no processo de escoamento, ou seja, os factores condicionantes das cheias. No segundo tipo de metodologia, a susceptibilidade    avaliada mediante a conjugação das três variáveis consideradas fundamentais no escoamento superficial e fluvial: a área acumulada ou área de acumulação potencial, a permeabilidade e o declive (Reis, 2011). A primeira fornece o volume potencial do

escoamento em cada unidade de terreno e define a magnitude da rede de drenagem; o declive fornece indicações relativamente à velocidade do escoamento superficial ao longo da bacia hidrográfica; e a permeabilidade estabelece a relação entre o escoamento directo e o de base, ou seja, entre o escoamento superficial e os processos de infiltração (Reis, 2011). A avaliação destas três variáveis e a sua combinação através de um método de integração específico possibilitam a definição dos troços dos cursos de água da bacia mais susceptíveis às cheias. Em função destes resultados, é possível determinar as áreas inundáveis e qual a sua susceptibilidade, alastrando a inundações às áreas planas ou com fracos declives adjacentes às linhas de água identificadas como susceptíveis às cheias. Os estudos de Reis (2011), Lúcio (2014), Jacinto *et al.* (2015), Santos e Reis (2017) e Santos *et al.* (2019), por exemplo, utilizaram esta metodologia.

A terceira abordagem é a mais comum para avaliar a susceptibilidade, embora não permita delimitar áreas inundáveis. Esta perspectiva analisa a susceptibilidade das bacias hidrográficas à luz dos factores condicionantes das cheias e do modo como estes contribuem para tornar as bacias mais ou menos perigosas quando ocorrem eventos de precipitação. Avalia-se a forma como as bacias respondem aos eventos de precipitação pela análise dos seus factores permanentes (naturais), como as características geométricas, da rede de drenagem, do relevo, do substrato geológico e dos solos, e dos factores variáveis (de influência antrópica), como a ocupação do solo. Esta metodologia permite aferir a predisposição de uma bacia, enquanto conjunto, para ser afectada por cheias, podendo também ser utilizada para efeitos comparativos entre bacias. Todavia, a principal dificuldade desta abordagem está relacionada com a transposição da susceptibilidade de uma bacia hidrográfica para os troços e fundos de vale onde, de facto, ocorrem as cheias. A avaliação dos factores condicionantes e as suas implicações nas cheias foram realizadas em diversos trabalhos científicos, como em Horton (1932), Christofolletti (1986), Reis (1996, 2006), Lavrador-Silva (2002), Duarte *et al.* (2005), Leal (2011) ou Leal e Ramos (2013).

6.2. PERIGOSIDADE

A perigosidade pode ser definida como a probabilidade de ocorrência de um fenómeno natural potencialmente danoso, com determinada intensidade ou magnitude, num dado período de tempo e numa dada área (UNDRO, 1979; Varnes, 1984; Julião *et al.*, 2009). Ao contrário da susceptibilidade, a perigosidade permite determinar a recorrência dos eventos de cheia e as áreas inundáveis a eles associados.

A perigosidade às cheias pode ser avaliada através de diversas abordagens com diferentes níveis de complexidade, dependendo da área da bacia hidrográfica em estudo e da quantidade e qualidade dos dados, recursos e tempo disponíveis (Büchle *et al.*, 2006; WMO, 2006; de Moel *et al.*,

2009). Destacam-se três grandes grupos de métodos: 1) hidrológico-hidráulicos; 2) históricos e paleohidrológicos; e 3) hidrogeomorfológicos (Díez-Herrero *et al.*, 2008; Lastra *et al.*, 2008; Santos, 2009; Camarasa-Belmonte e Soriano-García, 2012). No entanto, este tipo de classificação não parece ser a mais adequada, pois não é fácil fazer a distinção entre os métodos hidrogeomorfológicos e os paleohidrológicos no que diz respeito aos princípios, formas de obtenção e análise de dados e período de tempo considerado. Como tal, é frequente a utilização de uma quarta abordagem, designada como método de reconstituição hidrogeomorfológica, que combina os métodos históricos, paleohidrológicos e hidrogeomorfológicos. Para além destas técnicas, existem outras abordagens mais simples que possibilitam estimar a perigosidade, embora com resultados menos rigorosos (Horritt e Bates, 2002; Werner, 2004; Merz *et al.*, 2007; Aronica *et al.*, 2012). Por esta razão estas não serão abordadas neste capítulo.

6.2.1. Métodos hidrológico-hidráulicos

A natureza dos métodos hidrológico-hidráulicos assenta numa representação simplificada da realidade através de um modelo (Chow *et al.*, 1988; Maidment, 1993; Jha *et al.*, 2012). No caso dos modelos hidrológicos/hidráulicos, estes podem ser entendidos como representações matemáticas do escoamento numa dada porção de território (Maidment, 1993; Silva, 2008). Estes modelos já provaram ser capazes de simular as áreas inundáveis e a hidráulica dos cursos de água correspondentes a eventos de cheia com uma determinada recorrência (Moussa e Bocquillon, 1996; Horritt, 2006; Prinos *et al.*, 2008; Di Baldassarre *et al.*, 2010; Grimaldi *et al.*, 2013). Para além disso, permitem reflectir as condições actuais de escoamento (por exemplo, alterações morfológicas recentes no leito ou na ocupação do solo) e executar cenarizações, modificando os valores dos parâmetros introduzidos nos modelos, por exemplo, nos dados de precipitação ou nos coeficientes de rugosidade (Santos, 2009). Estes modelos possibilitam igualmente avaliar a reacção do escoamento à inclusão de obstáculos nos leitos fluviais.

Independentemente do tipo de método que se utiliza, a fiabilidade dos resultados cartográficos produzidos está, intrinsecamente, dependente da qualidade e da resolução dos dados de base, assim como da adequação à realidade das técnicas aplicadas na produção dos mapas (Merz *et al.*, 2007). A importância dos dados topográficos é conhecida (e.g. Horritt e Bates, 2002; Werner, 2004; Lastra *et al.*, 2008; Prinos *et al.*, 2008). Horritt e Bates (2002) e Sanders (2007) consideram mesmo que a resolução destes dados é o elemento chave na modelação hidrológica/hidráulica. Como tal, a escala desses dados deve ser de grande pormenor, sendo 1:10 000 a escala mínima a ser utilizada (Santos, 2009). Actualmente, os dados topográficos mais promissores e com maior precisão são obtidos através da tecnologia de detecção remota LiDAR (*Light Detection And Ranging*) (Horritt e

Bates, 2002; Sarhadi *et al.*, 2012; Fernandez *et al.*, 2013) ou dos levantamentos realizados por drones. Estes dados possibilitam a construção dos Modelos Digitais de Terreno (MDT), que são os elementos essenciais para a construção de qualquer mapa hidráulico, já que a topografia é o factor determinante nos padrões de inundação (Horritt e Bates, 2002; Prinos *et al.*, 2008; Diakakis, 2011; Jha *et al.*, 2012). Outro aspecto essencial para a correcta definição das áreas inundáveis é o conhecimento da geometria do canal fluvial a modelar e a existência de dados altimétricos precisos do mesmo (Santos, 2009).

Sintetizando, um modelo hidrológico/hidráulico é tanto melhor quanto melhores forem os dados relativos à topografia e quanto mais se aproximar da realidade. Porém, não existe um modelo que apresente sempre os melhores resultados em todos os contextos e, como tal, deve ser utilizado aquele que melhor se adapta à área de estudo e às suas condições específicas (Silva, 2008).

6.2.1.1. Tipos de modelos

O escoamento é um fenómeno muito complexo e que depende de numerosos factores (Maidment, 1993; Büchele *et al.*, 2006; Beven, 2012). Teoricamente, quanto mais complexos forem os modelos hidrológicos/hidráulicos, melhores serão os resultados. No entanto, isso não é necessariamente verdade. Segundo Chow *et al.* (1988), construir um modelo com diversas variáveis que dependem das três dimensões do espaço e também do tempo é uma tarefa árdua e, para que tenha uma aplicação prática, é necessário simplificá-lo. Assim sendo, os modelos podem ser classificados através da forma como esta simplificação é concretizada (Chow *et al.*, 1988). Segundo estes autores, o grau de simplificação/complexidade de um modelo reside na resposta a três questões: 1) o comportamento das variáveis consideradas no modelo é aleatório ou não?; 2) elas variam ou são uniformes no espaço?; e 3) elas variam ou são constantes no tempo?. A figura 6.1 representa os três níveis considerados: aleatoriedade, variação espacial e variação temporal.

No primeiro nível, os modelos podem ser determinísticos ou não determinísticos (Quintela e Portela, 2002) (figura 6.1). Um modelo determinístico não considera a aleatoriedade, isto é, um determinado *input* produz sempre o mesmo *output*, ao contrário do que acontece nos modelos não determinísticos, em que os resultados são, pelo menos, parcialmente aleatórios (Chow *et al.*, 1988; Quintela e Portela, 2002; Beven, 2012). Se a variabilidade resultante dos *outputs* for muito pequena quando comparada com a variabilidade resultante de factores conhecidos, um modelo determinístico é o mais apropriado (Chow *et al.*, 1988). Se, por outro lado, houver uma grande variação aleatória, um modelo não determinístico é mais adequado (Chow *et al.*, 1988).

Os modelos determinísticos estão subdivididos em empíricos, em que se procura apenas uma relação causa-efeito entre as variáveis de entrada (dados) e as variáveis de saída (resultados), e em

fisicamente baseados ou de base física, cujo objectivo é reproduzir as leis físicas que regem os fenómenos (Quintela e Portela, 2002) (figura 6.1). Quanto aos modelos não determinísticos, podem ser probabilísticos ou estocásticos (figura 6.1). Nos primeiros, as variáveis têm um comportamento puramente aleatório, sendo ignorada a sequência temporal ou espacial dos seus valores, ao contrário do que acontece nos estocásticos, em que essa sequência é tida em conta (Quintela e Portela, 2002). Note-se que é frequente não existir esta distinção, estando os modelos probabilísticos incluídos no contexto geral dos modelos estocásticos (Quintela e Portela, 2002).

O segundo nível da figura 6.1 analisa se o modelo considera a variação espacial dos fenómenos hidrológicos. Assim, os modelos determinísticos de base física podem ser agregados ou distribuídos. No caso de uma bacia hidrográfica, os modelos agregados assumem a bacia como uma unidade em que as variáveis hidrológicas integradas no modelo são expressas em valores médios (Chow *et al.*, 1988; Quintela e Portela, 2002; Beven, 2012; Jha *et al.*, 2012). Por exemplo, neste contexto a precipitação é tratada como sendo uniforme em toda a bacia hidrográfica. Contrariamente, os modelos distribuídos entendem que os processos hidrológicos ocorrem em vários pontos e, por isso, é feita uma divisão da bacia em várias secções/células, nas quais são resolvidas equações relativas às variáveis incluídas no modelo (Chow *et al.*, 1988; Beven, 2012).

Relativamente aos modelos estocásticos, estes podem ser divididos em espacialmente independentes (*space-independent*) ou espacialmente correlacionados (*space-correlated*) (figura 6.1), consoante se as variáveis aleatórias, em diferentes pontos/locais, se influenciam ou não de forma mútua (Chow *et al.*, 1988).

O terceiro nível da figura 6.1 corresponde à variabilidade temporal. Para os modelos determinísticos, o escoamento pode acontecer em regime uniforme (*steady flow*) ou variável (*unsteady flow*), dependendo se o escoamento varia (no caso do regime variável) ou não no tempo (no caso do regime uniforme) (Chow *et al.*, 1988; Prinos *et al.*, 2008). Os modelos estocásticos têm sempre em conta a variabilidade temporal, podendo ser classificados em temporalmente independentes (*time-independent*) ou temporalmente correlacionados (*time-correlated*) (figura 6.1). Os primeiros representam uma sequência de eventos hidrológicos que não se influenciam mutuamente, enquanto os segundos representam uma sequência em que o evento seguinte é, em parte, influenciado pelos anteriores (Chow *et al.*, 1988).

Esta classificação tende a olhar para os modelos em função do comportamento das suas variáveis e da forma como a sua complexidade é reproduzida no modelo, porém, existe uma outra perspectiva até aqui não contemplada. Trata-se da forma como os processos hidrológicos e as suas dinâmicas são representados no espaço. Assim, os modelos podem ser: 1D, *quasi* 2D, 1D-2D, 2D e 3D (Werner, 2004; Prinos *et al.*, 2008; Asselman *et al.*, 2009; Jha *et al.*, 2012; Manfreda *et al.*, 2014).

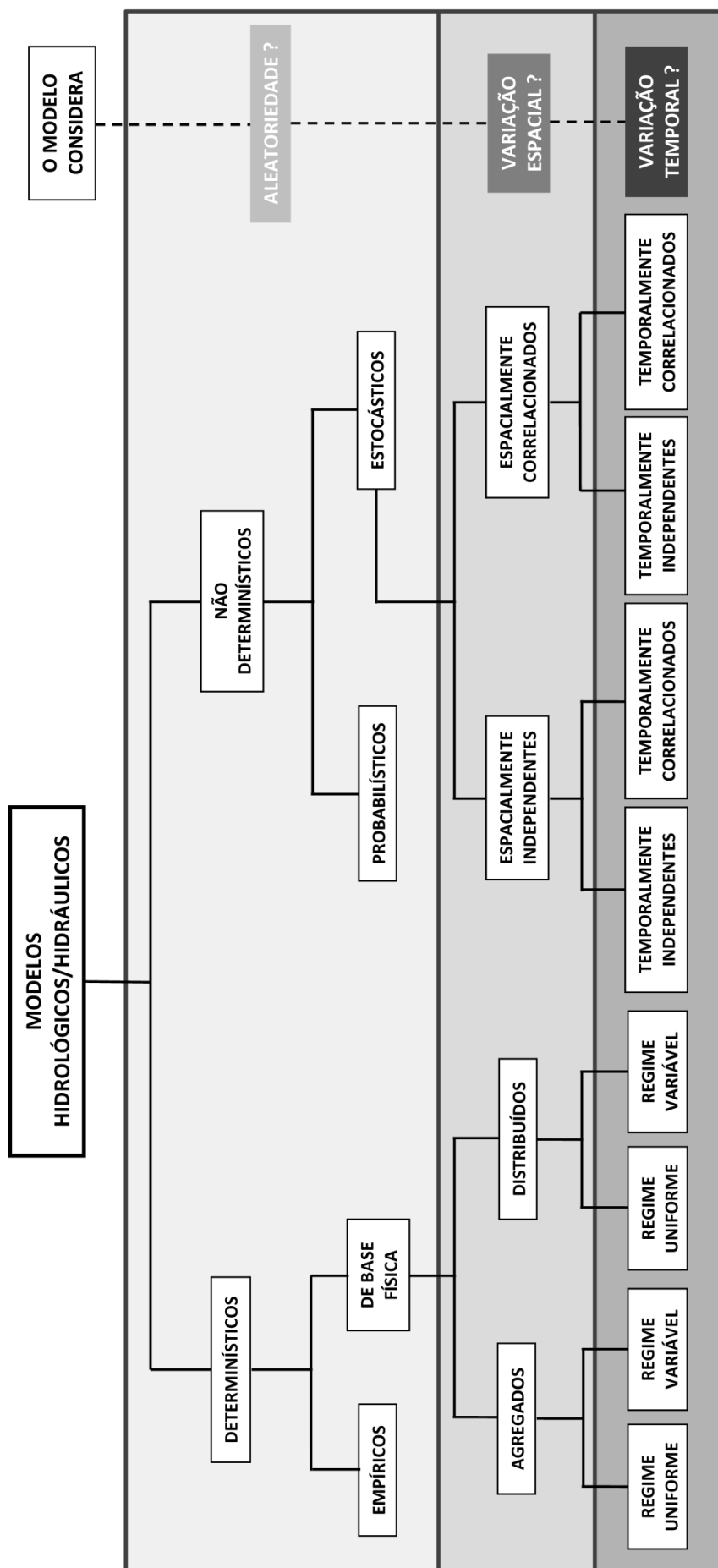


Figura 6.1 Classificação dos modelos hidrológicos/hidráulicos (adaptado de: Chow .,1988; Quintela e Portela, 2002).

Os modelos 1D ou unidimensionais assumem que o escoamento ocorre numa direcção dominante, alinhado com o eixo do canal principal (Balica *et al.*, 2013). São modelos simplificados que caracterizam a topografia do canal principal e do leito de cheia através de vários cortes perpendiculares ao sentido do escoamento (Jha *et al.*, 2012; Kalyanapu *et al.*, 2012). Os modelos 1D permitem apenas estimar a altura da coluna de água ao longo do eixo da massa de água (Prinos *et al.*, 2008) (figura 6.2). Para se obter a extensão e as alturas de água da área inundável é necessário cruzar a informação gerada com um MDT (Horritt e Bates, 2002; Prinos *et al.*, 2008; Asselman *et al.*, 2009; de Moel *et al.*, 2009; Kalyanapu *et al.*, 2012). Este tipo de modelos não exige tanta informação nem tanta capacidade computacional como, por exemplo, os modelos 2D, resultando numa apresentação mais rápida dos resultados (Prinos *et al.*, 2008; Morales-Hernández *et al.*, 2013). São indicados para modelar áreas em que se assume que o escoamento se faz numa direcção dominante (Jha *et al.*, 2012; Balica *et al.*, 2013), apresentando bons resultados em vales encaixados/áreas montanhosas (Horritt e Bates, 2002; Prinos *et al.*, 2008). Como tal, só devem ser aplicados em áreas cujos padrões de escoamento sejam conhecidos (Kalyanapu *et al.*, 2012). É reconhecido que este tipo de modelos não deve ser utilizado em locais com morfologias complexas, como áreas urbanas (Horritt e Bates, 2002; Costabile *et al.*, 2015) ou mesmo onde se verifiquem diferenças significativas nos níveis de água entre o canal fluvial e a planície aluvial (EXCIMAP, 2007; Kalyanapu *et al.*, 2012; Balica *et al.*, 2013). O HEC-RAS e o MIKE 11 são exemplos de modelos 1D, embora, no caso do primeiro, as versões mais recentes já incorporem uma componente 2D.

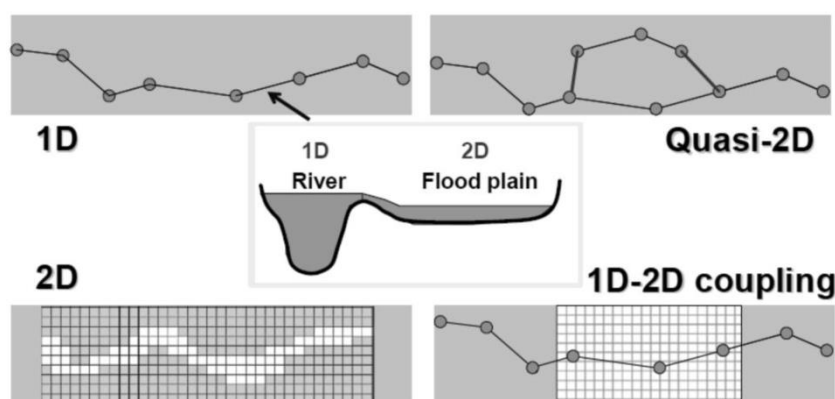


Figura 6.2 Tipos de modelos e a sua representação espacial (adaptado de: Asselman *et al.*, 2009).

Os modelos *quasi* 2D são híbridos, uma vez que calculam a onda dinâmica do escoamento em 1D e a discretização das unidades computacionais é feita em 2D (Lindenschmidt *et al.*, 2008). Em termos práticos, o comportamento do escoamento é modelado de forma unidimensional, enquanto o leito de cheia é desagregado numa rede de canais virtuais que se ligam ao canal principal através de um processo bidimensional (Morales-Hernández *et al.*, 2013) (figura 6.2). Os modelos *quasi* 2D

são, à semelhança dos modelos 1D, fáceis de implementar e utilizar e são pouco exigentes em termos computacionais se comparados com outros tipos (Castellarin *et al.*, 2011). No entanto, também só devem ser aplicados se houver um conhecimento prévio do comportamento do escoamento, de modo a que a sua utilização seja adequada à realidade da área de estudo (Asselman *et al.*, 2009). O TINFLOOD e o DYNHYD são alguns dos modelos *quasi* 2D.

Quanto aos modelos 1D-2D (designados 1D-2D *coupling* na figura 6.2) são também eles híbridos e representam uma evolução relativamente aos modelos *quasi* 2D no que respeita ao tipo de acoplação entre os modelos 1D e 2D. Neste caso, a modelação do canal fluvial é feita de forma unidimensional, enquanto a da planície aluvial se processa de modo bidimensional (Knight e Shiono, 1996; Bates e De Roo, 2000). Esta interacção permite reduzir a exigência e o tempo de computação, combinando os melhores atributos de cada tipo de modelo (Werner, 2004; Hunter *et al.*, 2007; Finaud-Guyot *et al.*, 2011; Morales-Hernández *et al.*, 2013). Contudo, a correcta interacção entre o leito menor e o leito de cheia nem sempre é conseguida, o que se traduz em incorrecções nas superfícies geradas (Caviedes-Voullième *et al.*, 2014). São exemplos de modelos 1D-2D o SOBEK e o MIKE FLOOD.

Os modelos 2D modelam o escoamento a duas dimensões horizontais (x e y) (figura 6.2), sendo possível avaliar a velocidade dos fluxos, a propagação, a duração e a subida do nível da água (Dias *et al.*, 2014). Estes conseguem reproduzir a hidráulica das áreas inundáveis e gerar superfícies detalhadas e precisas, pois a representação bidimensional é conseguida para o canal fluvial e para o leito de cheia (Kalyanapu *et al.*, 2012; Morales-Hernández *et al.*, 2013; Manfreda *et al.*, 2014). Assim, a sua utilização é apropriada tanto em áreas de topografia complexa, como em planícies aluviais extensas e estuários (Horritt e Bates, 2002; Jha *et al.*, 2012; Kalyanapu *et al.*, 2012; Morales-Hernández *et al.*, 2013), e em áreas urbanas (Grimaldi *et al.*, 2013; Kalyanapu *et al.*, 2012). Para se ajustarem às diferentes realidades, estes modelos necessitam de quantidades assinaláveis de dados e de parâmetros, o que se pode traduzir em alguns problemas de calibração e validação, e também em elevados tempos/exigência de computação (Jha *et al.*, 2012; Manfreda *et al.*, 2014). Exemplos de modelos 2D: LISFLOOD-FP, TELEMAC 2D e Iber.

Por último, os modelos 3D analisam o escoamento a três dimensões. Para além da realidade que os modelos 2D são capazes de ilustrar, os modelos 3D possibilitam o cálculo das variáveis analisadas tanto nas dimensões horizontais como na vertical: x , y e z (Jha *et al.*, 2012; Jowett e Duncan, 2012; Dias *et al.*, 2014). Por serem os modelos mais complexos, os *outputs* dos modelos tridimensionais podem representar uma maior aproximação à realidade. Por isso, são capazes de gerar áreas inundáveis muito precisas e com grande detalhe (Prinos *et al.*, 2008). São úteis em bacias hidrográficas onde o solo tem características diferenciadas na vertical que influenciem a inundação (Trancoso *et al.*, 2009; Dias *et al.*, 2014). Devido à sua complexidade, tornam-se algo complicados de

utilizar, sendo que o processo de produção de áreas inundáveis pode demorar dias (Prinos *et al.*, 2008; Jha *et al.*, 2012). Como tal, a sua aplicação só é possível em áreas bastante reduzidas (Prinos *et al.*, 2008; Jha *et al.*, 2012). O FINEL 3D e o TELEMAC 3D são exemplos de modelos tridimensionais.

Para além destes tipos, existem *softwares* que combinam diversas abordagens, como é o caso do MOHID. Este é um modelo de base física, espacialmente distribuído e com regime variável, que está dividido em diferentes módulos que integram os processos que ocorrem numa bacia hidrográfica (Trancoso *et al.*, 2009). A modelação do escoamento nos canais fluviais é feita em 1D, do escoamento superficial em 2D e do escoamento nas zonas saturada e não saturada em 3D.

6.2.1.2. Construção de um modelo

A escolha do tipo de modelo e do modelo propriamente dito a adoptar para uma determinada área depende de um conjunto de factores: 1) natureza do tipo de cheia; 2) conhecimento das características físicas da área de estudo; 3) disponibilidade e qualidade dos dados, nomeadamente hidrométricos e topográficos; 4) viabilidade da recolha de dados adicionais; e 5) recursos e tempo disponíveis (WMO, 2006; de Moel *et al.*, 2009). Para além destes, a experiência do utilizador é um factor fundamental (WMO, 2006; Beven, 2012). Este último factor é o que Beven (2012) define como a base do modelo perceptual, e que assenta no treino que o hidrologista tem, na bibliografia que leu, nos dados que analisou e na experiência de campo que adquiriu. O modelo perceptual consiste no sumário das percepções do utilizador quanto ao modo como uma bacia hidrográfica responde à precipitação em diferentes situações ou condições (Beven, 2012). Trata-se de um modelo individual e que varia, portanto, de utilizador para utilizador. Todavia, este é um modelo qualitativo, sendo que a sua transição para o necessário modelo quantitativo é um passo complicado e que envolve sempre alguma simplificação (Chow *et al.*, 1988; Beven, 2012). Consequentemente, a escolha do modelo matemático (neste caso, hidrológico-hidráulico) reside no que melhor traduz o modelo perceptual (Beven, 2012). Por outras palavras, deve ser escolhido o modelo que mais se aproxima da realidade (Maidment, 1993; Silva, 2008). Relembre-se, porém, que um modelo é sempre uma simplificação da realidade, já que a representação do mundo real não é viável nem possível. Deve ser encontrado um equilíbrio entre simplificação e complexidade para que se obtenham os melhores resultados possíveis.

Como já foi referenciado, os resultados, e também as metodologias, estão muito dependentes dos dados. A existência/ausência de dados hidrométricos na área a estudar implica a adopção de caminhos diferentes (EXCIMAP, 2007; Prinos *et al.*, 2008). A inexistência de estações hidrométricas numa bacia hidrográfica é comum e, assim sendo, nem sempre se podem aplicar métodos estatísticos (Beven, 2012). Como tal, é possível utilizar os dados de precipitação para

estimar os hidrogramas de cheia, com recurso a modelos hidrológicos, também designados modelos *rainfall-runoff* (WMO, 2006; Jha *et al.*, 2012; Grimaldi *et al.*, 2013). Um modelo hidrológico é um modelo matemático que estima o escoamento/caudal de um determinado curso de água em função da precipitação e das características da bacia hidrográfica (WMO, 2006; Silva, 2008).

Qualquer modelo hidrológico é formado por duas componentes essenciais, que podem apresentar diversas formas e graus de complexidade (Beven, 2012). A primeira determina qual a porção de precipitação que contribui para o hidrograma de cheia (geração de escoamento), ou seja, quantifica o escoamento superficial; enquanto a segunda considera a distribuição temporal desse escoamento para obter a forma do hidrograma de cheia (comportamento/propagação do escoamento) (Beven, 2012).

Os modelos hidrológicos fornecem um hidrograma de cheia para a desembocadura de uma bacia hidrográfica, considerando um conjunto de dados (precipitação, altimetria e outras características biofísicas e antrópicas da bacia), processos (escoamento superficial, interceptação, infiltração e propagação da onda de cheia) e variáveis (condições antecedentes de humidade do solo) (Lastra *et al.*, 2008; Brocca *et al.*, 2009; Jha *et al.*, 2012; Fernandez *et al.*, 2013).

Estes modelos tanto podem ser utilizados em pequenas e médias bacias hidrográficas, que são afectadas por cheias rápidas, como em grandes bacias (EXCIMAP, 2007; Jha *et al.*, 2012). Existe uma grande diversidade de modelos hidrológicos, sendo o HEC-HMS, o LISFLOOD, o HBV ou o TOPKAPI alguns dos mais difundidos (EXCIMAP, 2007). Refira-se que os modelos hidrológicos e hidráulicos não são, geralmente, desenvolvidos de modo independente, ou seja, as entidades públicas e privadas criam pacotes de *software* compostos por vários programas que executam funções diferentes. No caso do HEC-HMS e do HEC-RAS, ambos fazem parte do mesmo *software*, mas o primeiro executa os modelos hidrológicos e o segundo produz os modelos hidráulicos. Como tal, o modelo hidrológico a usar no HEC-RAS deve ser criado a partir do HEC-HMS. O mesmo sucede, por exemplo, com o LISFLOOD e o LISFLOOD-FP.

Os modelos hidrológicos são particularmente úteis em áreas onde não existem estações hidrométricas ou cujas séries de dados são curtas. O hidrograma de cheia (que pode ser obtido através de um modelo *rainfall-runoff* ou de análises estatísticas) é o que serve de *input* ao modelo hidráulico, cuja função é calcular e projectar espacialmente a extensão e a altura de água das áreas inundáveis (EXCIMAP, 2007; Jha *et al.*, 2012). Em função do seu tipo de representação espacial, um modelo hidráulico pode também ser capaz de representar a velocidade dos fluxos que se desenvolvem num leito de cheia (Prinos *et al.*, 2008; Jha *et al.*, 2012; Jowett e Duncan, 2012).

É fácil ser seduzido pelos resultados produzidos, contudo, mesmo o mais sofisticado dos modelos pode não originar boas simulações, sendo a sua avaliação sempre necessária (Beven, 2012).

6.2.1.3. Incertezas, calibração e validação do modelo

Qualquer modelo, sendo uma aproximação da realidade, terá sempre limitações, erros e incertezas associados (Merz *et al.*, 2007; Santos, 2009; Beven, 2012; Jha *et al.*, 2012; Beven *et al.*, 2018). Isto não é apenas válido e verdadeiro na perigosidade, pois na avaliação de todas as componentes do risco existem incertezas. No caso específico das áreas inundáveis, a sua compreensão é essencial para melhorar a qualidade da cartografia (Pappenberger *et al.*, 2006; Jha *et al.*, 2012). Não considerar a incerteza no processo de modelação pode traduzir-se numa incorrecta avaliação da perigosidade às cheias, originando consequências no âmbito do ordenamento e planeamento do território (Hall *et al.*, 2005; Di Baldassarre *et al.*, 2010).

É comum a distinção entre dois tipos de incerteza: aleatória e epistémica (Merz e Thieken, 2009; Beven *et al.*, 2018). A primeira está relacionada com a variabilidade ou heterogeneidade inerente aos processos e elementos que intervêm num sistema, enquanto a segunda se refere à falta de conhecimento e aos limites do utilizador, assim como à sua incapacidade de compreender, descrever e medir o sistema analisado (Merz e Thieken, 2009; Wagenaar *et al.*, 2016; Beven *et al.*, 2018). Por seu turno, Maskey *et al.* (2004) consideram quatro fontes de incerteza: 1) os dados; 2) o modelo em si; 3) os parâmetros utilizados no modelo; e 4) a incerteza natural e operacional. Quanto aos dados, séries curtas de precipitação e a inexistência de estações hidrométricas na bacia hidrográfica fazem aumentar a incerteza (Santos, 2009; Balica *et al.*, 2013). No modelo propriamente dito, os erros podem resultar da sua incorrecta escolha ou da sua incapacidade de representar de forma correcta o escoamento sub-superficial ou subterrâneo (Maskey *et al.*, 2004; Beven, 2012). Também uma imperfeita análise dos parâmetros utilizados no modelo (por exemplo, a rugosidade) pode ter influência na sua qualidade (Di Baldassarre *et al.*, 2010; Lumbroso e Gaume, 2012; Fernandez *et al.*, 2013). A incerteza natural e operacional advém, por um lado, de eventos de cheia que não sejam provocados pela precipitação (exemplo: movimentos de vertente) e, por outro, de erros humanos, *hardware* ou *software* (Maskey *et al.*, 2004). Há ainda uma outra componente assumida pelos modelos, e que pode originar incertezas, que consiste na suposição de que a realidade é fixa, isto é, estes não contemplam a possibilidade dos valores de precipitação/caudal observados serem ultrapassados no futuro (Diakakis, 2011; Jha *et al.*, 2012; Beven *et al.*, 2018).

Uma das formas de reduzir os erros associados a um modelo é através da calibração dos seus parâmetros, sendo que, tanto o modelo hidrológico, como o modelo hidráulico devem ser calibrados (Werner, 2004; Beven, 2012; Fernandez *et al.*, 2013). A técnica mais comum reside no ajustamento dos valores dos parâmetros utilizados para obter a melhor correspondência entre as previsões do modelo e os valores de precipitação e/ou caudal observados (Hunter *et al.*, 2005; WMO, 2006; Beven, 2012). Uma boa calibração está também dependente da existência/inexistência de dados e da

sua qualidade/quantidade. Por outro lado, mesmo um modelo bem calibrado pode ter maus desempenhos quando é usado para prever eventos com magnitudes diferentes daqueles que foram usados para a sua calibração (Horritt e Bates, 2002; Romanowicz e Beven, 2003; Werner, 2004; Horritt, 2006; Di Baldassarre *et al.*, 2010). Aliás, um dos critérios para avaliar o desempenho de um modelo é a sua estabilidade de calibração em relação a eventos de diversas magnitudes, apesar de isso ser algo extremamente complicado, pois exige séries de dados bastante longas (Bates e De Roo, 2000; Horritt e Bates, 2002). De facto, a escassez de dados pode nem sequer permitir efectuar uma calibração (Lastra *et al.*, 2008).

Este tipo de abordagem determinística, baseada na utilização de um único conjunto ideal de parâmetros não considera as incertezas que decorrem do processo de modelação (Bates *et al.*, 2004; Hunter *et al.*, 2005; Horritt, 2006). Isto é, um valor óptimo (resultante do processo de calibração) definido para um determinado parâmetro só o é, por norma, para um dado evento (Romanowicz e Beven, 2003). Daí que um modelo bem calibrado nem sempre é sinónimo de um modelo ajustado à realidade, dado que não é capaz de produzir bons resultados para eventos com diferentes magnitudes.

Devido a estes condicionalismos, diversos autores sugerem a aplicação de uma abordagem probabilística e que, como tal, já inclua a estimativa da incerteza (Romanowicz e Beven, 2003; Bates *et al.*, 2004; Hall *et al.*, 2005; Pappenberger *et al.*, 2006; Lastra *et al.*, 2008; Di Baldassarre *et al.*, 2010; Aronica *et al.*, 2012; Jha *et al.*, 2012; Kalyanapu *et al.*, 2012). Propõe-se a realização de uma análise sensitiva, que possibilita conhecer a influência de cada uma das variáveis na incerteza das áreas inundáveis previstas (Hall *et al.*, 2005). A metodologia mais utilizada para concretizar uma análise sensitiva é o método GLUE (*Generalised Likelihood Uncertainty Estimation*), proposto por Beven e Binley (1992). Este método exige a aplicação de várias simulações Monte Carlo relativas às variáveis/parâmetros a considerar, aos quais são atribuídas ponderações que, posteriormente, são somadas de modo a obter um modelo de previsão da incerteza (Beven e Binley, 1992; Horritt, 2006; Aronica *et al.*, 2012).

Para além da estimativa da incerteza, há algo que qualquer metodologia ou modelo não pode descurar: a validação dos resultados produzidos. Esta pode ser efectuada com auxílio a diversos recursos utilizados por outras metodologias (métodos hidrogeomorfológicos, históricos e paleohidrológicos). Na verdade, a conjugação de diversas metodologias contribui para a obtenção dos melhores resultados possíveis (WMO, 2006; Camarasa-Belmonte e Soriano-García, 2012). O recurso a trabalho de campo, a imagens de satélite e a documentos históricos são formas de validar os resultados produzidos pelo modelo hidrológico-hidráulico (Horritt e Bates, 2002; Werner, 2004; Diakakis, 2011; Jha *et al.*, 2012).

Actualmente, a avaliação da perigosidade às cheias rápidas recorre quase sempre aos métodos hidrológico-hidráulicos, utilizando os métodos abordados de seguida como forma de validação. Isto deve-se à possibilidade de representar as áreas inundáveis, associando-lhes um dado período de retorno. O facto de se conseguir estabelecer uma probabilidade de ocorrência é algo muito relevante em questões de ordenamento e gestão do território.

6.2.2. Métodos históricos

Antes de existirem estações hidrométricas, capazes de registar os valores de escoamento/caudal de forma continuada, as informações históricas sobre cheias eram a única fonte (de origem humana) de obtenção de alguns dados hidrológicos (Stedinger e Baker, 1987). Ao contrário dos dados actuais, esta informação provém de fontes intermitentes, tais como mapas e documentos antigos, crónicas e jornais (Stedinger e Baker, 1987; Benito *et al.*, 2004; Kjeldsen *et al.*, 2014; Raška e Emmer, 2014; Zêzere *et al.*, 2014). Pode ser também obtida com recurso às marcas dos níveis que uma ou várias cheias atingiram e que se encontram, com alguma frequência, em pontes e em outros edifícios e infra-estruturas (Benito *et al.*, 2004; Apel *et al.*, 2009; Kjeldsen *et al.*, 2014) ou através de inquéritos e/ou entrevistas à população residente (Santos, 2009, 2015).

Os registos históricos permitem inventariar os eventos de cheia que ocorreram nas últimas décadas ou séculos, podendo mesmo ser o único recurso quando não existem dados hidrométricos ou quando os elementos/formas naturais são “apagados” devido à acção humana (Benito *et al.*, 2004; Kjeldsen *et al.*, 2014; Raška e Emmer, 2014). Este tipo de método permite melhorar a análise da frequência das cheias, uma vez que alargam o período de tempo em que existem dados, mas também da sua magnitude, pois, é comum que as informações históricas existentes se refiram a eventos excepcionais (Benito *et al.*, 2004; WMO, 2006; Kjeldsen *et al.*, 2014). Para além disso, a importância destas informações na sensibilização da população para o risco de cheia é considerável, já que a preservação de evidências de eventos do passado permite educar as gerações futuras, que podem não ter oportunidade de presenciar fenómenos com determinada magnitude durante as suas vidas (Kjeldsen *et al.*, 2014).

Um dos possíveis condicionalismos é que este tipo de informação nem sempre descreve o fenómeno em si, relatando apenas os seus efeitos ou consequências (Benito *et al.*, 2004). Por outro lado, deve ser feita uma análise crítica à qualidade da informação disponível. O facto de se efectuarem cópias sucessivas, impressões, reinterpretações ou resumos dos textos originais pode desvirtuar o seu conteúdo (Glaser, 1996; Benito *et al.*, 2004). Apesar do valor dos dados históricos ser reconhecido, a sua inclusão na análise do risco de cheias ainda não é feita na maioria dos casos (Kjeldsen *et al.*, 2014).

6.2.3. Métodos paleohidrológicos e hidrogeomorfológicos

A distinção entre os métodos paleohidrológicos e hidrogeomorfológicos não é clara, uma vez que ambos se baseiam no trabalho de campo para estimar as áreas inundáveis e determinar a frequência e a magnitude dos eventos de cheia. Por outro lado, é frequente existirem confusões e más interpretações por parte dos autores, especialmente no que diz respeito às paleocheias e aos métodos paleohidrológicos (Benito e Díez-Herrero, 2015).

Embora já existissem diversos estudos anteriores, a paleohidrologia só foi assim denominada por Kochel e Baker (1982). Esta tem como objectivo a reconstrução da magnitude e da frequência das cheias recentes, passadas e antigas recorrendo a evidências geológicas. Para tal, utilizam-se métodos indirectos hidráulicos, geológicos, geomorfológicos, sedimentológicos e botânicos (Kochel e Baker, 1982). Recorre-se não apenas a evidências geológicas, mas sim físicas/naturais, que podem ser observadas na paisagem, nos sedimentos e na vegetação (Stedinger e Baker, 1987; Baker, 2008; Benito e Díez-Herrero, 2015).

Tal como já foi dito, o termo paleocheias pode gerar equívocos, sendo frequentemente associado apenas a cheias muito antigas (escala geológica) (Benito e Díez-Herrero, 2015). No entanto, a maioria dos estudos de paleohidrologia envolvem análises pré-históricas (últimos 5000 anos), históricas (últimos 2000 anos) e recentes (Benito *et al.*, 2004; Kjeldsen *et al.*, 2014; Benito e Díez-Herrero, 2015). Deste modo, não é a data em que ocorreram as cheias que determina se se trata de uma paleocheia, mas sim o facto das evidências naturais/físicas serem as únicas que comprovam a existência de uma cheia (Benito e Díez-Herrero, 2015). Tal como refere Baker (2008), as paleocheias correspondem a eventos que ocorreram sem serem registados nem por estações hidrométricas, nem por documentos históricos.

Muitos dos estudos sobre paleocheias utilizam indicadores geológicos como depósitos, faixas/linhas de silte e de argila (*silt/clay lines*) e faixas/linhas de erosão ao longo do canal do curso de água, das vertentes e dos terraços (Benito *et al.*, 2004). A localização destes elementos permite estimar a altura da coluna de água e as áreas inundáveis (Benito *et al.*, 2004; Baker, 2008). As linhas de erosão, de silte e de argila correspondem aos níveis que a cheia atingiu, os depósitos e as formas de erosão correspondem aos locais inundados, e as superfícies ou horizontes dos solos que não foram modificados correspondem às áreas que não foram inundadas (Benito *et al.*, 2004).

Para determinar a frequência dos eventos de cheia são efectuadas datações, nomeadamente em depósitos de sedimentos finos (areia fina e silte), que são transportados em suspensão durante as cheias e que são depositados em locais onde a velocidade do escoamento é reduzida (Kochel e Baker, 1982; Stedinger e Baker, 1987; Baker, 2008). Por isso, estes ocorrem em áreas de estuário ou nos sectores terminais dos cursos de água, no entanto, também podem surgir nas áreas de

confluência ou em sectores menos inclinados dos leitos fluviais. Estes depósitos são conhecidos como *slack-water* e são compostos por várias camadas ou níveis, em que cada um deles representa um evento de cheia, que pode ser analisado e interpretado através de técnicas de geocronologia, sedimentologia e estratigrafia (Baker, 2008). Contudo, a sua aplicação nem sempre é possível. Estas técnicas só são apropriadas para vales encaixados, com modificações mínimas no leito do curso de água, já que as características hidráulicas que existiam no passado têm de ser semelhantes às presentes (Benito *et al.*, 2004; Baker, 2008).

Para além da frequência das cheias, estes métodos possibilitam estimar a sua magnitude, sendo possível estimar os níveis que a água atingiu no passado. A existência de um limite superior para a magnitude das cheias numa área é uma longa e controversa discussão da hidrologia (Enzel *et al.*, 1993). Uma abordagem determinística recorre a *envelope curves* para determinar os valores/limites máximos que uma cheia pode atingir numa determinada região ou área ou bacia hidrográfica (Mimikou, 1984; Enzel *et al.*, 1993; Castellarin *et al.*, 2005). Assume-se então que existem limites físicos, tanto para o fornecimento de precipitação, como para a resposta de uma bacia hidrográfica durante o período de precipitação (Yevjevich e Harmancioglu, 1987). Por outro lado, uma perspectiva estocástica considera que o limite superior de magnitude não pode ser determinado com uma precisão aceitável, ou seja, no futuro poderá existir uma cheia de maior magnitude do que aquelas que já ocorreram (Enzel *et al.*, 1993). Quando existem dados hidrométricos é frequente a adopção dos *envelope curves* com base nesses registos, todavia, é difícil afirmar que o valor máximo que um evento de cheia pode atingir está incluído num período de algumas dezenas de anos (Enzel *et al.*, 1993; Kjeldsen *et al.*, 2014). Neste âmbito, algo que os métodos paleohidrológicos e hidrogeomorfológicos têm em comum é um princípio simples: os limites exteriores dos leitos de cheia correspondem aos limites máximos atingidos pelas cheias que ocorreram no passado (Ballais *et al.*, 2005; Lastra *et al.*, 2008; Santos, 2009).

Os métodos hidrogeomorfológicos consistem na interpretação da morfologia dos canais fluviais e das planícies aluviais, tal como dos sedimentos transportados e depositados pelo curso de água (Díez-Herrero *et al.*, 2008). Também a análise da vegetação e o recurso a imagens de satélite e a fotografias aéreas estão incluídos neste método (Ballais *et al.*, 2005; WMO, 2006; Lastra *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2011). De facto, a complementaridade entre as técnicas de gabinete e de campo, é algo que diferencia estes métodos relativamente aos paleohidrológicos. A utilização dos mapas geológicos, de solos e de ocupação do solo, das imagens de satélite, das fotografias aéreas e dos ortofotomapas, integrados em ambiente SIG, permite complementar os dados recolhidos no campo (WMO, 2006; Díez-Herrero *et al.*, 2008; Lastra *et al.*, 2008; Santos, 2009; Santos *et al.*, 2011; Manfreda *et al.*, 2014).

Como se percebe, existe uma certa sobreposição no que respeita aos princípios, técnicas e metodologias utilizadas pelos métodos paleohidrológicos e hidrogeomorfológicos. Como referem Arnaud-Fassetta *et al.* (2009), a morfologia de uma bacia hidrográfica contém uma enorme quantidade de informações referentes a fenómenos de erosão e de acreção resultantes de cheias, constituindo um indicador útil na determinação das áreas inundáveis de uma dada área. Deste modo, as fontes de informação e de dados podem ser muito diversas (Stedinger e Baker, 1987; Benito *et al.*, 2004) e, como tal, determinar e discutir a área de influência destes dois métodos é uma tarefa complicada e até pouco útil.

6.2.4. Método de reconstituição hidrogeomorfológica

Tendo em conta tudo o que foi dito previamente, a melhor solução para estimar as áreas inundáveis e a perigosidade às cheias numa área de estudo (quando a utilização da modelação hidrológico-hidráulica não é possível ou aconselhável) é a aplicação do método de reconstituição geomorfológica, tal como sugerem alguns autores (Ballais *et al.*, 2005; Díez-Herrero *et al.*, 2008; Lastra *et al.*, 2008; Santos, 2009; Santos *et al.*, 2011).

De uma forma simples, este método analisa evidências passadas que testemunham a ocorrência de cheias ou inundações (Ballais *et al.*, 2005; Borga *et al.*, 2008; Díez-Herrero *et al.*, 2008; Santos, 2009). É possível determinar a extensão das áreas inundáveis, tal como a frequência e magnitude das cheias, através: 1) da identificação, recolha e análise de elementos de origem geológica e geomorfológica (existência de terraços e meandros abandonados), sedimentológica (granulometria e cor dos depósitos/aluviões) e biológica (presença de vegetação ripícola/ripária); 2) da pesquisa de registos epigráficos, crónicas/documentos antigos e jornais; 3) da localização de marcas de cheias anteriores em edifícios e outras infra-estruturas; 4) da consulta de mapas geológicos, de solos e de ocupação do solo, imagens de satélite e ortofotomapas; e 5) da realização de entrevistas e inquéritos (Stedinger e Baker, 1987; Benito *et al.*, 2004; Ballais *et al.*, 2005; WMO, 2006; Díez-Herrero *et al.*, 2008; Lastra *et al.*, 2008; Santos, 2009; Santos *et al.*, 2011).

Trata-se, portanto, de uma metodologia que combina o trabalho de campo e de gabinete, e que recorre a um conjunto alargado de fontes de informação, de modo a combinar as vantagens de cada um dos tipos de métodos. O método de reconstituição hidrogeomorfológica é especialmente útil em bacias hidrográficas que não tenham registos hidrométricos, ou cujas séries de dados são curtas (WMO, 2006; Lastra *et al.*, 2008; Manfreda *et al.*, 2014), e em cursos de água que apresentem canais e leitos de cheia cuja morfologia é muito variável tanto no espaço como no tempo e com grande potencial erosivo (Lastra *et al.*, 2008; Camarasa-Belmonte e Soriano-García, 2012). Os cursos de água efémeros são casos típicos de linhas de água com estas características e em que a aplicação

dos modelos hidrológico-hidráulicos não deve ser considerada, já que estes tendem a sobrestimar a extensão das áreas inundáveis para eventos frequentes e a subestimá-la para eventos com elevados períodos de retorno (Lastra *et al.*, 2008). Quando existe a possibilidade de se utilizar a modelação hidrológico-hidráulica, então os seus resultados podem ser calibrados e/ou validados com recurso às técnicas usadas pelo método de reconstituição hidrogeomorfológica (Ballais *et al.*, 2005; WMO, 2006; Apel *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2011). Este método possibilita ainda melhorar a análise da frequência e da magnitude das cheias (Benito *et al.*, 2004; WMO, 2006; Kjeldsen *et al.*, 2014).

A maior limitação deste tipo de método está relacionada com a dificuldade em estabelecer os períodos de retorno correspondentes a determinadas alturas atingidas pela coluna de água (Santos, 2009).

6.2.5. Factores que determinam a perigosidade às cheias rápidas

O perigo que as cheias representam para os elementos expostos deve-se à soma de diversos efeitos do escoamento que podem causar danos/perdas. Kelman e Spence (2004) e Papathoma-Köhle *et al.* (2011) sintetizam os efeitos das cheias nos edifícios em seis acções: 1) hidrostáticas, que resultam da presença da água e que consistem na pressão lateral na estrutura dos edifícios e na pressão capilar; 2) hidrodinâmicas, que resultam do movimento da água, como são os casos da velocidade e da turbulência do escoamento; 3) erosivas, nas paredes do canal fluvial (efeito de sapa), podendo causar instabilidade nos edifícios devido à falta de sustentação; 4) de flutuação, quando o caudal é capaz de elevar e fazer flutuar um elemento exposto; 5) dos sedimentos, que se podem subdividir em acções estáticas (acumulação), dinâmicas (impacto) e erosivas; e 6) não físicas, como acções químicas e biológicas.

Os métodos abordados nos pontos anteriores permitem determinar as áreas inundáveis, mas nem todos possibilitam a definição dos períodos de retorno associados, nem a estimativa de outros factores, como a velocidade, que influenciam decisivamente a capacidade destruidora das cheias rápidas. A sua perigosidade não deve ser avaliada apenas pela extensão das áreas inundáveis e pela sua recorrência, mas sim pela combinação entre a intensidade/magnitude do fenómeno natural e a sua recorrência. Quanto maior for a intensidade, menor será a sua probabilidade de ocorrência. A definição dos períodos de retorno dos caudais de ponta de cheia, ou das precipitações quando não existem dados hidrométricos, pode ser alcançada através de métodos estatísticos (exemplos: Gumbel ou Pearson tipo 3) ou das curvas IDF, já referidas e utilizadas no capítulo 2 para a precipitação. Já a magnitude de uma cheia pode ser aferida através de diversos factores: altura da coluna de água, velocidade do escoamento, duração da cheia, quantidade de carga sólida ou concentração de poluentes (Merz *et al.*, 2007).

Por norma, o indicador mais utilizado para avaliar a intensidade de uma cheia é a altura de água (Smith, 1994; Penning-Rowse *et al.*, 2005; Middelmann-Fernandes, 2010; de Moel *et al.*, 2015), até porque a velocidade do escoamento ou a duração da cheia são variáveis mais difíceis de obter devido à sua maior exigência de tempo, processamento e computação (Merz *et al.*, 2007). De facto, altura de água é o indicador que vai determinar a extensão das áreas inundadas, quais os elementos afectados e, em última análise, se a água atinge a altura das janelas desses elementos e até que ponto pode dificultar o auxílio e a evacuação de pessoas presas dentro de edifícios. Segundo Ishigaki *et al.* (2009), 40 cm é a altura máxima de água para uma porta poder ser aberta em situações de cheia. No entanto, quando se trata de cheias rápidas, determinar a velocidade e as suas variações espaciais ao longo do canal e dos leitos de cheia é fundamental na estabilidade tanto dos edifícios como dos indivíduos. Quando Penning-Rowse *et al.* (2005) referem que uma altura de água superior a 60 cm pode colocar em causa a vida de uma pessoa, o perigo não se deve à altura da água, mas sim à velocidade que o escoamento pode atingir e à quantidade de carga sólida transportada.

A magnitude das cheias rápidas deve resultar da combinação entre a altura (h) da água e a velocidade (v), que, depois de aferida a sua probabilidade de ocorrência, resulta na perigosidade. A aplicação ou não de ponderações a estes dois factores e a definição do número e dos limiares das classes de intensidade podem diferir consoante o contexto geográfico analisado e/ou a experiência do utilizador. Um dos documentos de referência neste contexto é o guia de avaliação da perigosidade elaborado pela Agência Suíça para o Desenvolvimento e Cooperação (Zimmermann *et al.*, 2005). Este guia propõe três classes de intensidade: reduzida ($h < 0,5$ m ou $h \times v < 0,5$ m²/s); moderada, (h entre 0,5 m e 2 m ou $h \times v$ entre 0,5 m²/s e 2 m²/s); e elevada ($h > 2$ m ou $h \times v > 2$ m²/s). Por outro lado, pode ser aplicado um factor de majoração relativamente à velocidade, tal como o utilizado para a avaliação da perigosidade no Reino Unido (de Moel *et al.*, 2009) ou pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente) em Portugal. Segundo a APA, a intensidade pode ser obtida pela seguinte expressão $h \times (v + 0,5)$, enquanto no Reino Unido se acrescenta à equação a componente de carga sólida transportada (Jonkman e Penning-Rowse, 2008; de Moel *et al.*, 2009; Kourgialas e Karatzas, 2014). A APA propõe que a magnitude seja classificada como: inexistente ($< 0,75$); baixa (0,75-1,25); média (1,25-2,5); alta (2,5-7); e muito alta (> 7). Adoptando a mesma fórmula para avaliar o quão perigosa uma cheia pode ser para uma pessoa, deve ser adoptada uma perspectiva mais conservadora (HR Wallingford, 2006), em que a perigosidade pode ser classificada como: baixa ($< 0,75$); moderada (0,75-1,25); significativa (1,25-2,5); e extrema ($> 2,5$). Ainda segundo esta classificação, a combinação entre altura de água e velocidade do escoamento pode representar diferentes níveis de perigo para os indivíduos em função da sua altura e massa corporal. A perigosidade baixa não constitui perigo para ninguém, a perigosidade moderada representa perigo para algumas pessoas, a perigosidade significativa estabelece perigo para a maioria das pessoas e a

perigosidade extrema constitui um perigo para todos. De modo a obter o mapa final da perigosidade, a magnitude deve ser cruzada com a probabilidade de ocorrência ou período de retorno.

6.3. EXPOSIÇÃO

A exposição pode ser considerada como um inventário dos elementos expostos (Apel *et al.*, 2009) e potencialmente afectáveis por um determinado processo perigoso, no qual estão incluídos: população, propriedades, estruturas, infra-estruturas, actividades económicas, ecossistemas, entre outros (Merz *et al.*, 2007; Julião *et al.*, 2009). Esta componente do risco está muito associada à dimensão espacial, tal como está patente noutras definições. Winsemius *et al.* (2013) entendem a exposição como a localização de pessoas e bens numa área propensa a ser afectada por um fenómeno perigoso. Numa óptima mais operacional, Birkmann *et al.* (2013) referem que a exposição permite avaliar quais os elementos expostos incluídos numa área susceptível a ser afectada por um perigo natural. Ainda assim, os mesmos autores consideram que as comunidades podem estar expostas mesmo quando se encontram fora das áreas afectáveis, pois podem haver espaços utilizados por essas comunidades, ou actividades a elas associadas, que se encontram dentro dos limites definidos como afectáveis.

Para alguns autores, a exposição reproduz algo mais amplo, o que pode significar um conflito com a abrangência do conceito vulnerabilidade, como veremos adiante. Por exemplo, Douglas (2007) considera que as características das populações, do edificado e do ambiente físico em risco representam a exposição, enquanto a maioria dos trabalhos científicos considera que essas características só devem ser avaliadas pela análise da vulnerabilidade. Independentemente disso, estar exposto pode não resultar em consequências negativas, dado que são as características dos elementos expostos que determinam o quão afectados estes podem ser aquando da ocorrência de um fenómeno natural (Foudi *et al.*, 2015).

Mesmo que as características dos elementos expostos possam não ser integradas na exposição, a função dos edifícios (habitacional, comercial, industrial, etc.) e a sua ocupação deve ser considerada nesta componente. Neste âmbito, a dimensão temporal é igualmente importante. A exposição varia consoante o período em que o fenómeno natural ocorre, ou seja, esta difere se o processo natural acontece durante o dia ou à noite, ou se ocorre em dias úteis ou aos fins-de-semana/feriados. Entenda-se que a exposição de um edifício enquanto elemento estrutural/físico não se modifica consoante o período do dia ou da semana, contudo, o número de pessoas que nele se encontra em determinada altura do dia é diferente. A exposição humana é maior nos dias úteis e durante o horário de trabalho nas áreas comerciais e industriais, e é maior aos fins-de-

semana/feriados e durante a noite (independentemente do dia) nas áreas residenciais (Camarasa-Belmonte *et al.*, 2011).

Ainda no que diz respeito aos edifícios, a legislação portuguesa consagra, através do Decreto-Lei 115/2010, a salvaguarda dos designados edifícios sensíveis. Trata-se de imóveis ou estruturas que não devem ser edificados em áreas de risco por motivos variados: 1) são fundamentais na resposta e na gestão de situações de emergência (quartéis de bombeiros, instalações de outros agentes de protecção civil, instalações das autoridades civis e militares, rede hospitalar e de saúde); 2) os indivíduos que as ocupam apresentam mobilidade reduzida ou estão dependentes de outros para se deslocarem (lares de idosos, creches ou escolas); 3) fornecem o suporte básico às populações (água, electricidade e telecomunicações); ou 4) armazenam, gerem ou processam substâncias perigosas, efluentes e resíduos (Julião *et al.*, 2009).

6.4. VULNERABILIDADE

6.4.1. Conceito e abrangência

A vulnerabilidade é a componente do risco mais difícil de definir, avaliar e quantificar devido às suas diversas interpretações, dimensões, métodos de avaliação e formação profissional dos investigadores (Cutter, 1996; Messner e Meyer, 2006; Camarasa-Belmonte *et al.*, 2011; Birkmann *et al.*, 2013). A verdade é que a comunidade científica procura medir a vulnerabilidade, sem antes a conseguir definir de forma precisa (Birkmann, 2006; de Bruijn *et al.*, 2007; de Moel *et al.*, 2009), já que o termo vulnerabilidade tem significados e interpretações diferentes para pessoas diferentes (Cutter, 1996; Birkmann e Wisner, 2006; Fuchs, 2009; Papathoma-Köhle *et al.*, 2011). Como consequência, existem dezenas de definições de vulnerabilidade com abrangências muito distintas. Em termos latos, esta representa o potencial para a perda (Cutter, 2011; Winsemius *et al.*, 2013), mas o seu entendimento por parte do investigador pode variar. Por um lado, a vulnerabilidade pode ser entendida como o grau de perda sofrido por um ou vários elementos expostos, em resultado da ocorrência de um processo ou fenómeno natural (Varnes, 1984; Zêzere *et al.*, 2008; Fuchs, 2009; Julião *et al.*, 2009). Por outro lado, a vulnerabilidade pode representar o potencial de um sistema social, económico e ambiental para ser atingido ou sofrer prejuízos em resultado de um fenómeno natural, a sua capacidade para resistir e recuperar dos efeitos adversos (Jha *et al.*, 2012; Balica *et al.*, 2013; Solín *et al.*, 2018). Entenda-se que a vulnerabilidade pode ser aplicada a tipos de ocupação do solo, edifícios, infra-estruturas, comunidades, grupos sociais ou indivíduos (de Bruijn *et al.*, 2007).

Apesar das diferentes visões acerca da vulnerabilidade, é possível considerar que esta se refere sempre à predisposição de um elemento ou conjunto de elementos para sofrer danos decorrentes de um perigo (van der Veen *et al.*, 2009; Winsemius *et al.*, 2013). Esta pode ser encarada

com uma característica intrínseca (Cardona, 2003), embora não necessariamente permanente ou imutável (Birkmann e Wisner, 2006; de Bruijn *et al.*, 2007). Esta predisposição está, por isso, dependente das características dos elementos expostos (Beven *et al.*, 2018) e do seu comportamento em caso de ocorrência de um fenómeno natural. Este aspecto é designado como vulnerabilidade intrínseca (Adger, 2006; Birkmann, 2007, 2013; de Bruijn *et al.*, 2007; Merz *et al.*, 2007; de Moel *et al.*, 2015; Solín *et al.*, 2018), sendo a componente comum a todas as abordagens sobre a vulnerabilidade (Birkmann, 2006).

As várias componentes da vulnerabilidade estão sintetizadas na figura 6.3, sendo que a vulnerabilidade intrínseca constitui a primeira esfera. A segunda esfera destaca a componente humana, assumindo que a vulnerabilidade representa a capacidade dos elementos afectados para lidar e recuperar dos danos causados por um fenómeno perigoso. A conjugação entre as duas primeiras esferas configura a terceira esfera da vulnerabilidade. Na quarta esfera juntam-se às componentes anteriores a exposição e a capacidade de adaptação dos elementos afectados, enquanto a quinta esfera aborda as várias dimensões da vulnerabilidade: estrutural/física, social, económica, ambiental ou institucional. Estas serão analisadas de forma mais detalhada no ponto 6.4.2.

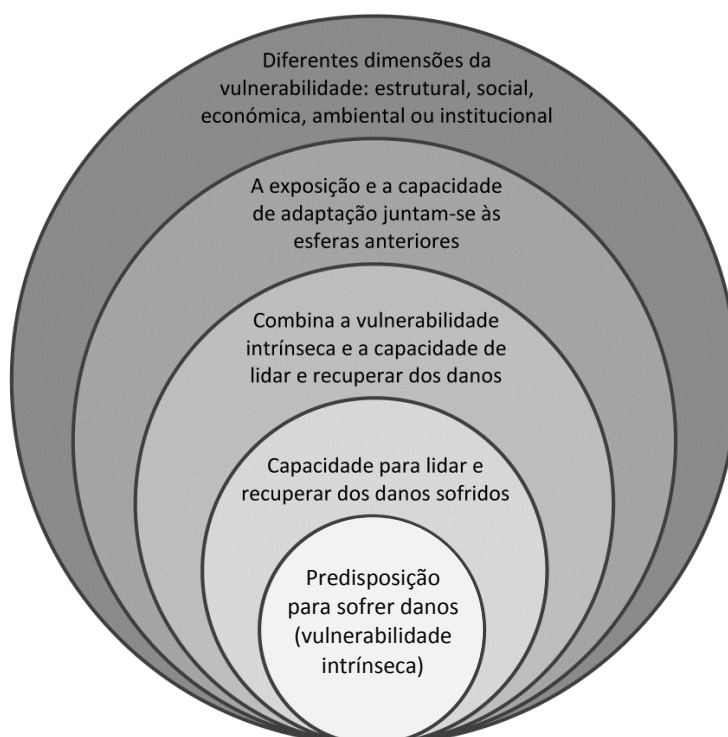


Figura 6.3 Representação das esferas da vulnerabilidade e da expansão do conceito (adaptado de Birkmann (2005)).

Para além dos já mencionados na figura 6.3, ao longo do tempo foram surgindo outros conceitos associados à vulnerabilidade, como são os casos de resistência ou resiliência. Embora sejam conceitos distintos, ambos abordam a forma como um sistema reage a perturbações (de Bruijn, 2004). Resistência pode ser entendida como a capacidade de um sistema para suportar o impacto de um fenómeno danoso (Merz *et al.*, 2011; Solín *et al.*, 2018) e para permanecer a funcionar sem perturbações no pós-evento (Mens *et al.*, 2011).

À semelhança do que acontece para a vulnerabilidade, o conceito de resiliência também gera alguma confusão na comunidade científica, não havendo ainda uma definição estabilizada. O termo resiliência tem a sua proveniência na ecologia e começou a ser utilizado na década de 1960 (Folke, 2006). Apesar da abrangência do conceito não ser consensual, é possível considerar um sistema resiliente aquele que for capaz de absorver as perturbações e de se adaptar e reorganizar após uma situação adversa (Walker *et al.*, 2004; Adger, 2006; Folke, 2006). A resiliência de um sistema pode ser incrementada através de políticas de ordenamento do território, de gestão do risco e de planeamento de emergência (Cutter *et al.*, 2010, 2014).

Ainda no que concerne aos conceitos ligados à vulnerabilidade, é importante referir que a vulnerabilidade intrínseca, representando a propensão para os elementos expostos sofrerem danos, pode ser encarada como uma componente passiva e negativa da vulnerabilidade (Solín *et al.*, 2018). Assim, quanto maior esta for, maior será a vulnerabilidade. Pelo contrário, a resistência e resiliência de um sistema representam as componentes activas e positivas da vulnerabilidade, dado que, a vulnerabilidade diminui com o aumento da resistência e/ou da resiliência (Solín *et al.*, 2018).

6.4.2. Dimensões da vulnerabilidade e factores que a influenciam

A abrangência do conceito de vulnerabilidade e a sua interdisciplinaridade é algo que se tem expandido ao longo do tempo, motivando o aparecimento de diferentes perspectivas e dimensões (Balica *et al.*, 2013). Enquanto até ao início dos anos 80, a vulnerabilidade estava quase exclusivamente associada à fragilidade estrutural das infra-estruturas afectadas por um fenómeno perigoso, na actualidade está bem mais para além desse conceito (Birkmann, 2007). Hoje em dia é comum falar-se em vulnerabilidade estrutural/física, social, económica, ambiental ou institucional. No âmbito dos processos/fenómenos naturais, estas dimensões podem ser avaliadas de forma independente ou integrada, dependendo do objectivo do investigador, da escala de análise, da existência de dados e do tempo disponível para os recolher, entre outros factores.

Independentemente do fenómeno natural em causa, as características estruturais com maior influência na vulnerabilidade dos edifícios são as mesmas: 1) tipo de estrutura; 2) material de construção; 3) idade; 4) estado/condição; 5) altura; 6) número de pisos; e 7) existência, número,

altura e dimensão das portas e janelas (e.g. Douglas, 2007; Kappes *et al.*, 2012 Ettinger *et al.*, 2016). Deste modo, a vulnerabilidade será tanto maior quanto menos resistente for o edifício. A importância das suas características varia em função de cada fenómeno natural. No caso específico das cheias, apesar de todas as características referidas serem relevantes, a hierarquia não é consensual na comunidade científica (Granger *et al.*, 1999; Menoni *et al.*, 2006; Holub e Hübl, 2008; Kappes *et al.*, 2012), embora se reconheça que o tipo de estrutura e o material de construção dos edifícios são fundamentais nos danos sofridos (Milanesi *et al.*, 2018).

Num outro âmbito, a componente social é algo que não deve ser descurada na interpretação da vulnerabilidade, tendo em conta que os danos humanos resultantes de um fenómeno natural serão sempre mais importantes do que os danos materiais. Não obstante a inexistência de uma definição comum, a vulnerabilidade social pode ser entendida como a propensão para um indivíduo, um conjunto de indivíduos ou uma sociedade serem afectados por uma perturbação (Cutter, 1996; de Bruijn *et al.*, 2007; Birkmann *et al.*, 2013). Tal como a vulnerabilidade estrutural/física, também a vulnerabilidade social pode ser incrementada ou mitigada pelas características dos elementos expostos. Neste caso, as especificidades demográficas (idade, género, raça/etnia), condições socioeconómicas (educação, rendimento) e estado de saúde (mobilidade, doenças) da população afectada influenciam o grau de vulnerabilidade (Cutter, 1996; Birkmann, 2006; Messner e Meyer, 2006; Fekete, 2009; Koks *et al.*, 2015; Rufat *et al.*, 2015; Solín *et al.*, 2018).

Parte das variáveis referidas podem estar relacionadas, como é o caso da idade e do grau de mobilidade. As crianças e os idosos possuem, regra geral, um grau de mobilidade inferior a outros grupos sociais. Embora as razões sejam distintas, tanto as crianças como os idosos acarretam tempo e dificuldades adicionais em caso de evacuação, o que os torna mais vulneráveis. A etnia e a nacionalidade também podem representar obstáculos quando ocorrem fenómenos naturais devido a possíveis barreiras linguísticas e/ou culturais (Koks *et al.*, 2015), fazendo com que os imigrantes apresentem, por norma, uma maior vulnerabilidade (Fothergill *et al.*, 1999). As condições socioeconómicas também condicionam a vulnerabilidade. Maiores rendimentos permitem que as pessoas estejam, em termos teóricos, mais bem preparadas aquando da ocorrência de fenómenos perigosos e recuperar mais facilmente no pós-evento por possuírem, por exemplo, um seguro (Cutter *et al.*, 2010, 2014; Koks *et al.*, 2015).

Uma perspectiva interessante aponta para a modificação da vulnerabilidade dos grupos sociais consoante as diferentes etapas dos fenómenos naturais (Rufat *et al.*, 2015). O mesmo grupo pode ser vulnerável numa determinada fase de um evento e não o ser noutras (Kuhlicke *et al.*, 2011). Tomemos as cheias como exemplo. A informação e a consciencialização acerca do fenómeno, assim como o nível de educação e o grau de preparação para lidar com o mesmo são determinantes no pré-evento. O conhecimento do processo natural e das características do local/área, sabendo que

esta pode ser potencialmente afectada por cheias são, por isso, fundamentais neste contexto (Pelling, 1998). Recorde-se que o desconhecimento do território por parte das populações residentes, instalando-se no leito de cheia da ribeira da Póvoa (Odivelas), contribuiu de forma decisiva para as trágicas consequências das cheias de 1967. Assim, os grupos sociais mais vulneráveis no pré-evento são aqueles que menos preparação e conhecimento tiverem. Durante uma situação de cheia, os mais vulneráveis são os que possuem menor mobilidade e/ou que apresentem maior dependência de terceiros para se deslocar, isto é, crianças, idosos, deficientes e acamados. Curiosamente, no pólo oposto a vulnerabilidade também é elevada, com os homens (género) e a população adulta (idade) a estarem envolvidos nas operações de resgate e emergência (Whittle *et al.*, 2010) ou a assumirem comportamentos de risco (Jonkman e Kelman, 2005; Becker *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2017a). Como se disse no capítulo 4, muitos destes comportamentos acontecem para salvar bens pessoais, especialmente veículos. No pós-evento, os grupos mais vulneráveis são os mais desfavorecidos social e economicamente e que, por isso, têm maiores dificuldades em recuperar dos impactes das cheias (Rufat *et al.*, 2015). Todo o contexto descrito sugere a vulnerabilidade social como uma situação dinâmica (Pelling, 1998; Walker e Burningham, 2011) e cujo nível de vulnerabilidade dos indivíduos ou grupos sociais depende de um conjunto de factores (Pereira *et al.*, 2016).

6.4.3. Métodos de avaliação

Apesar de ser um elemento fundamental para a análise do risco, as metodologias de avaliação da vulnerabilidade às cheias estão bem menos avançadas do que as utilizadas na determinação da perigosidade (Birkmann, 2007). Não existe uma metodologia uniforme para classificar a vulnerabilidade dos elementos expostos (Glade e Crozier, 2012; Papathoma-Köhle, 2016), algo que se deve a diversos factores: 1) a complexidade do termo e a sua abrangência (Gaume *et al.*, 2009), que resultam na dificuldade em encontrar uma definição estabilizada (Birkmann, 2006; de Bruijn *et al.*, 2007; de Moel *et al.*, 2009; Papathoma-Köhle *et al.*, 2011); 2) as metodologias para avaliação da vulnerabilidade são, quase sempre, distintas em função do fenómeno natural em causa (Kappes *et al.*, 2012); 3) a natureza dos elementos que intervêm na vulnerabilidade e que, muitas vezes, só podem ser avaliados de forma qualitativa, nomeadamente os de índole social (Fekete, 2009); 4) as diferentes escalas espaciais (nacional, regional e local) e temporais a que vulnerabilidade pode ser avaliada (Birkmann, 2007; Fekete *et al.*, 2010; Marchi *et al.*, 2010; de Moel *et al.*, 2015); 5) a falta de informação relativa aos danos causados por eventos danosos (Papathoma-Köhle *et al.*, 2011); e 6) a intervenção dos serviços técnicos para restaurar as funções básicas do sistema e

promover a segurança das infra-estruturas, reduzindo o tempo para a recolha de dados no campo (Ettinger *et al.*, 2016).

A avaliação da vulnerabilidade depende, em primeira instância, do entendimento do seu conceito, isto é, para determinar a vulnerabilidade é necessário saber exactamente do que se trata. Deve ser estabelecido se a vulnerabilidade é vista enquanto robustez/fragilidade e capacidade de adaptação e, eventualmente, de reorganização de um sistema/elemento no pós-evento, ou enquanto grau de perda. Isto vai influenciar a utilização de parâmetros de resistência e/ou de impacto (Thieken *et al.*, 2005).

Na primeira assumpção, é avaliada a vulnerabilidade intrínseca, em que são apenas considerados os parâmetros de resistência, isto é, as características dos elementos expostos (Merz *et al.*, 2010, 2011) e a forma como estas condicionam a sua resistência e influenciam eventuais perdas. No caso dos edifícios ou infra-estruturas podem ser considerados o tipo, dimensão, material de construção, estrutura, idade, estado de conservação, função, medidas de mitigação implementadas, entre outras características (Kreibich *et al.*, 2010). A componente social também é relevante neste âmbito, pois a idade, género, mobilidade, educação ou condições socioeconómicas das pessoas potencialmente afectadas influenciam a vulnerabilidade (Birkmann, 2006; Messner e Meyer, 2006; Rufat *et al.*, 2015). Há ainda que considerar as experiências vividas em situações semelhantes, a existência/inexistência de sistemas de alerta às populações ou as medidas de precaução e de emergência relativamente a eventos danosos (Kreibich *et al.*, 2007; Thieken *et al.*, 2007; Merz *et al.*, 2011). Nesta óptica, procura-se compreender o quão vulnerável é um elemento, independentemente das características do processo natural.

Uma abordagem comum no campo socioeconómico consiste na atribuição de pesos a diversos indicadores que contribuem para aumentar ou diminuir a vulnerabilidade dos elementos expostos (e.g. Papathoma-Köhle *et al.*, 2007; Meyer *et al.*, 2009; Fekete *et al.*, 2010; Kappes *et al.*, 2012). Esta metodologia baseada em indicadores ainda é pouco explorada no contexto da vulnerabilidade física, porque a importância das características dos edifícios/infra-estruturas difere em função do fenómeno natural em causa. As mesmas características que fazem com que um elemento exposto apresente uma elevada vulnerabilidade a um determinado fenómeno natural podem fazer com que esse elemento possua uma vulnerabilidade reduzida a outro fenómeno natural (Kappes *et al.*, 2012). Assim, a vulnerabilidade de um elemento exposto às cheias rápidas é diferente da vulnerabilidade do mesmo elemento a deslizamentos rotacionais. Por outro lado, este tipo de metodologias permite considerar que dois edifícios localizados exactamente no mesmo local sofrem danos distintos, em função das suas características, apesar de experienciarem um processo natural com a mesma intensidade (Papathoma-Köhle, 2016). Este tipo de metodologia procura, assim,

determinar o potencial para a perda de cada edifício com base num conjunto de características intrínsecas (Stephenson e D'Ayala, 2014).

Na perspectiva das ciências naturais, a ambição passa, com frequência, pela medição e quantificação das componentes que compõem o risco (Birkmann *et al.*, 2013). Contudo, quantificar a vulnerabilidade de um elemento ou conjunto de elementos é algo extremamente complexo e nem sempre viável, em especial devido à natureza dos factores que influenciam a vulnerabilidade. Quando se avalia a vulnerabilidade enquanto grau de perda, muitas vezes não se tem em conta as características dos edifícios expostos (Fuchs, 2009) e a análise centra-se nos parâmetros de impacto, ou seja, nas características dos eventos danosos. A avaliação da vulnerabilidade deve ser efectuada em função de cada fenómeno natural, considerando as suas especificidades e a forma como cada um deles afecta os elementos expostos. Nesta perspectiva, a vulnerabilidade aumenta com o incremento da magnitude do fenómeno natural. No caso das cheias rápidas, os principais factores que fazem variar o grau de perda são a altura de água, a velocidade do escoamento e a carga sólida transportada (Merz *et al.*, 2010). Uma vez que o grau de perda dos elementos expostos está directamente relacionado com os danos causados, as formas de avaliação são analisadas de seguida.

6.5. VALOR DOS ELEMENTOS EXPOSTOS E DANOS

6.5.1. Valor dos elementos expostos

Na avaliação do risco deverá ser incluído o valor dos elementos expostos. A sua definição pode ser uma tarefa bastante complexa, conforme o entendimento do conceito. Julião *et al.* (2009) entendem que o valor de um elemento ou conjunto de elementos em risco deverá corresponder ao custo de mercado da respectiva recuperação, tendo em conta o tipo de construção ou outros factores que possam influenciar esse custo. No caso dos edifícios com funções não residenciais a estimativa das perdas indirectas, motivadas pela cessação ou interrupção de funcionalidade, actividade ou laboração, também deve ser incluída (Julião *et al.*, 2009).

Aquilo que se observa nos trabalhos científicos é, por norma, algo mais simples. O valor dos edifícios é definido com base nos valores dos cadastros prediais (e.g. Pereira *et al.*, 2017b), nos valores de mercado (e.g. Remondo *et al.*, 2008) ou nos custos de construção/reconstrução (e.g. Fuchs *et al.*, 2007; Zêzere *et al.*, 2008; Papathoma-Köhle *et al.*, 2012; Tîncu *et al.*, 2018). Ao contrário do valor de mercado e do custo de reconstrução, o valor cadastral não considera as flutuações da oferta e da procura, nem a especulação imobiliária. Em Portugal, esta informação está contida na plataforma do Sistema Nacional de Informação Cadastral (SNIC).

O custo de construção/reconstrução é o indicador utilizado pelas companhias de seguros. O valor de construção/reconstrução de um imóvel corresponde ao produto da área bruta do imóvel

pelo preço do m² correspondente à localização. Este representa um valor médio e fixo actualizado anualmente. Até 2015, as seguradoras portuguesas utilizavam a portaria do Ministério do Ambiente que regulava este valor, passando, posteriormente, a empregar os valores da Associação Portuguesa dos Peritos Avaliadores de Engenharia (APAE). Em 2018, os valores por m² variavam entre 813,19 € na Zona I, na qual está integrada a maioria dos municípios da AML, e 644 €. Porém, o custo de construção/reconstrução não é coincidente com o valor estipulado no capital (estrutural) segurado aquando da realização da apólice. O capital segurado considera todos os indicadores que podem influenciar este valor, como o material de construção, idade, estado de conservação, entre outros. Quando ocorre um sinistro, se o capital segurado for inferior ao custo de construção/reconstrução do imóvel, a companhia de seguros assume apenas o valor contratualizado na apólice. Exemplificando, se o custo de construção/reconstrução for de 150.000 €, mas o capital segurado for de 100.000 €, a seguradora só irá indemnizar o tomador do seguro neste montante.

Os custos de construção/reconstrução por m² referentes ao ano de 2010 para a maioria dos países do mundo foram estimados num relatório elaborado pela Comissão Europeia (Huizinga *et al.*, 2017). Estas quantias foram obtidas através dos dados de empresas multinacionais de construção para dezenas de países com valores conhecidos. Os custos de construção/reconstrução de cada país foram, assim, definidos através de uma regressão logística com base no respectivo Produto Interno Bruto *per capita* (Huizinga *et al.*, 2017). Os valores mundiais e para a União Europeia, assim como o custo de construção/reconstrução para Portugal, podem ser vistos na tabela 6.1. Constata-se que os montantes estimados para Portugal são inferiores aos da média da União Europeia, embora superiores aos mundiais. Note-se ainda que os valores apresentados para Portugal em 2010 são, genericamente, mais elevados do que os definidos pela APAE para 2018, o que revela uma sobrestimação nos montantes obtidos em Huizinga *et al.* (2017).

Por norma, atribuem-se valores a bens materiais, no entanto, as pessoas podem estar incluídas nos elementos expostos. Como é óbvio, é muito complicado definir quanto custa a perda de uma vida. Apesar disso, as companhias de seguros fazem-no em função das características físicas dos indivíduos, ou seja, para uma seguradora cada pessoa tem um valor, sendo que o valor de um idoso é menor do que o de um adulto em idade activa.

Tabela 6.1 Custos de construção/reconstrução (m²) estimados para os edifícios residenciais, comerciais e industriais em 2010.

Região	Custos de construção/reconstrução (€) por m ² em 2010		
	Edifícios residenciais	Edifícios comerciais	Edifícios industriais
Mundo	819	887	604
União Europeia	1333	1394	911
Portugal	1144	1210	800

Fonte: Huizinga *et al.* (2017).

6.5.2. Tipos de danos

Para além dos danos humanos e materiais, já analisados nos capítulos 4 e 5, os danos resultantes de um fenómeno perigoso podem ser classificados de outras formas. Os danos podem ser directos, quando ocorrem imediatamente após o evento, ou indirectos, quando se manifestam a médio e longo prazo. Também podem ser entendidos como tangíveis, quando é possível definir um valor/preço, ou intangíveis, quando não se pode estimar um valor/preço (Smith e Ward, 1998; Jonkman *et al.*, 2008). Os danos tangíveis e intangíveis ainda se podem subdividir em primários (resultam do impacto directo do fenómeno perigoso) e secundários (efeitos provocados pela acção dos danos primários, por exemplo, a disrupção do abastecimento de electricidade, gás ou água) (Smith e Ward, 1998). Podem também ser considerados os danos terciários, como por exemplo, modificações na morfologia dos cursos de água ou aumento dos preços dos seguros (WMO, 2013).

Os danos causados por uma cheia estão, muitas vezes, relacionados com as perdas apresentadas pelos elementos expostos. Recorde-se que a vulnerabilidade é, frequentemente, entendida como o grau de perda, podendo remeter para valores relativos (entre 0 a 1 ou entre 0% a 100%) ou absolutos (monetários). A partir do valor (absoluto) de um elemento exposto, é possível determinar a consequência ou dano potencial, definido como o prejuízo expectável num elemento exposto, em resultado do impacto de uma cheia com determinada magnitude (Julião *et al.*, 2009).

6.5.3. Metodologias de avaliação de danos e escalas de análise

Os danos resultantes de cheias podem ser estimados à micro ou à meso-escala (Messner e Meyer, 2006; Kreibich *et al.*, 2010). As avaliações de danos mais comuns são realizadas à micro-escala ou escala local, em que as perdas são estimadas para cada unidade considerada (Wagenaar *et al.*, 2016), isto é, cada edifício é analisado individualmente. As análises dos danos previstos à escala local permitem determinar e quantificar o risco de cheias num determinado sector de uma bacia hidrográfica e contribuir para a definição de medidas de protecção dos edifícios expostos. Por outro lado, as avaliações de danos realizadas à meso-escala baseiam-se nos vários de tipos de ocupação do solo (Messner e Meyer, 2006). Estas abordagens são úteis nos estudos regionais sobre medidas de protecção contra cheias, na implementação ou avaliação de políticas de gestão do risco ou nas avaliações financeiras para companhias de seguros (Kreibich *et al.*, 2010). Contudo, esta não é a escala mais adequada quando se pretende estimar os danos causados por cheias. Existem incompatibilidades entre as escalas e a natureza dos dados referentes às áreas inundáveis (em estrutura *raster* e delimitadas à escala local) e aos elementos expostos, neste caso, os tipos de ocupação do solo (em estrutura vectorial e definidos a partir de uma escala muito menos detalhada) (Chen *et al.*, 2004; Thieken *et al.*, 2006; Kreibich *et al.*, 2010).

A metodologia mais difundida para se quantificar os danos à escala local (Smith, 1994; Penning-Rowse et al., 2005; Büchele et al., 2006; Papathoma-Köhle et al., 2011; Hammond et al., 2015; Spekkers et al., 2015) é a determinação das curvas de danos (*stage-damage curves*, em inglês), introduzidas por White (1945). Estas consistem em funções matemáticas que representam o incremento das perdas à medida que uma variável independente também aumenta (Winsemius et al., 2013). No caso das cheias, a variável independente mais utilizada é a altura de água (Smith, 1994; Penning-Rowse et al., 2005; Merz et al., 2007; Middelmann-Fernandes, 2010; de Moel et al., 2015).

As curvas de danos podem ser geradas a partir de dados empíricos, em que se utilizam dados recolhidos depois de eventos de cheia, ou de abordagens sintéticas, em que a informação relativa aos danos é compilada por especialistas pela via condicional (Penning-Rowse et al., 2005; de Moel et al., 2009; Merz et al., 2010; de Moel e Aerts, 2011; Wagenaar et al., 2016). Esta última formulação estima os danos esperados quando ocorre uma situação específica através de questões como: “qual é o dano expectável se a altura de água atinge 2 metros num edifício?”. Diga-se que, em termos teóricos e apesar de não se tratar de uma relação linear, quanto maior for a altura de água, maiores serão os prejuízos causados pelas cheias (Büchele et al., 2006). Nestas curvas, os danos podem ser expressos em valores absolutos (monetários) ou relativos.

Tal como para o valor dos elementos expostos, Huizinga et al. (2017) estimaram os valores monetários mundiais associados aos danos máximos resultantes de cheias. Estes montantes foram obtidos através de curvas de danos, com alturas de água que variam entre 0 e mais de 6 metros. Os danos máximos (estruturais) para Portugal foram estimados em 412 €/m² para edifícios residenciais, em 435 €/m² para edifícios comerciais e em 288 €/m² para edifícios industriais (Huizinga et al., 2017). Considera-se que estes valores podem servir para efeitos comparativos entre países ou como enquadramento de um determinado país no respectivo continente, mas dificilmente são adequados para se avaliar os danos resultantes de cheias rápidas.

O facto deste tipo de metodologia estabelecer uma relação entre a magnitude das cheias e os danos expectáveis é algo que torna as curvas de danos muito apetecíveis no âmbito da avaliação do risco. Todavia, a sua utilização deve ser feita com o rigor e o cuidado necessários por razões variadas. Como já foi referido, as curvas de danos utilizam, normalmente, a altura de água como variável independente, assumindo que as perdas resultam apenas deste parâmetro, não considerando outras componentes do escoamento. Isto significa que este tipo de modelos apresentam bons resultados para as cheias progressivas, mas não são adequados para compreender os danos causados por cheias rápidas, em que a velocidade do escoamento e a carga sólida transportada são muito relevantes. Assim, as curvas de danos elaboradas com base na altura de água só são apropriadas quando a velocidade do escoamento é inferior a 1 m/s (Middelmann-Fernandes, 2010). Outra das limitações das curvas de danos é o facto de se cingirem apenas a uma das

características das infra-estruturas, que, por norma, é o material de construção, não tendo em consideração outros aspectos como o número de pisos, a existência de janelas ou a idade dos edifícios (Kappes *et al.*, 2012). Por outro lado, as curvas de danos muitas vezes só se adaptam a uma realidade específica e dificilmente podem ser aplicadas em outras regiões (Papathoma-Köhle *et al.*, 2017, 2019). Por exemplo, a relação entre as perdas nos edifícios expostos e a magnitude do fenómeno natural não é a mesma se ocorrer numa região de montanha ou na região do Mediterrâneo.

Deste modo, a utilização das curvas de danos envolvem ainda uma dose considerável de incerteza (Merz *et al.*, 2004; Middelmann-Fernandes, 2010), especialmente quando se avaliam os danos resultantes de cheias rápidas (Freni *et al.*, 2010). Ora, se as curvas de danos concebidas para a realidade de uma região geram resultados dúbios, estimar as curvas de danos para um país a partir dos seus indicadores económicos e dos resultados de outros países, como efectuado por Huizinga *et al.* (2017), torna-se pouco razoável.

As matrizes de danos são outra forma de avaliar as consequências provocadas por fenómenos naturais (Leone *et al.*, 1996; Menoni *et al.*, 2006; Zêzere *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2014; Papathoma-Köhle *et al.*, 2017), apesar da sua utilização no âmbito das cheias seja menos comum. Ainda que subsistam dúvidas a propósito da sua contribuição efectiva para a análise de risco (Cox, 2008), as matrizes de danos constituem uma metodologia qualitativa ou semi-quantitativa e de aplicação relativamente simples (Menoni *et al.*, 2006; Kappes *et al.*, 2012), que permitem estabelecer diferenças espaciais (Santos *et al.*, 2014).

6.6. RISCO

Depois de avaliadas com sucesso todas as suas componentes (susceptibilidade, perigosidade, exposição, vulnerabilidade, valor dos elementos expostos e danos), é possível determinar o risco. Este pode ser definido como a probabilidade de ocorrência de um fenómeno perigoso e respectiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente (Julião *et al.*, 2009).

Todavia, nem sempre é possível determinar os prejuízos resultantes dos fenómenos naturais. Se é exequível quantificar os danos e estimar as perdas monetárias, e eventualmente económicas, dos elementos afectados por um determinado evento que atingiu um dado período de retorno, extrapolar os prejuízos para eventos com diferentes recorrências torna-se um processo muito mais complexo e incerto. Como tal, é frequente não se conseguir obter o risco, mas sim o risco específico (UNDRO, 1979; Varnes, 1984) ou risco potencial. Ao invés do risco resultar do produto da perigosidade pela consequência, este advém do produto da perigosidade pela vulnerabilidade.

Por fim, é importante lembrar que qualquer metodologia que pretenda representar a realidade terá, inevitavelmente, alguma porção de incerteza, sendo fundamental ter a noção que ela existirá sempre. Porém, a quantidade de dados e a melhoria da sua qualidade, a melhor compreensão dos fenômenos naturais e dos seus processos e o avanço nas metodologias de avaliação e representação das diversas componentes do risco permitem a redução da incerteza e dos erros associados.

SÍNTESE DO CAPÍTULO 6

Este capítulo procurou apresentar e discutir os conceitos ligados às várias componentes do risco, ao mesmo tempo que, para cada uma delas, se explicavam as metodologias utilizadas com maior frequência e se enunciavam as vantagens, desvantagens e limitações da sua aplicação. Não obstante a existência de diversos traços comuns na avaliação do risco referente aos vários fenómenos naturais, as cheias rápidas mereceram amplo destaque, tendo em conta a natureza da Parte III desta dissertação.

A susceptibilidade é a primeira componente do risco, estando associada à dimensão espacial do fenómeno natural. No caso das cheias rápidas, a susceptibilidade pode ser encarada através de três perspectivas distintas: 1) delimitação das áreas inundáveis de uma bacia hidrográfica; 2) determinação dos cursos de água e/ou troços com maior propensão para sofrer cheias; e 3) análise dos factores condicionantes (naturais e/ou antrópicos) das cheias, permitindo conhecer o grau de susceptibilidade global de uma bacia.

A perigosidade alia a componente temporal à dimensão espacial das cheias rápidas, determinando quais as áreas inundáveis associadas a diferentes períodos de retorno. A avaliação da perigosidade pode ser executada através de três grandes grupos de métodos: 1) hidrológico-hidráulicos; 2) históricos e paleohidrológicos; e 3) hidrogeomorfológicos. Em diversas situações é usado o método de reconstituição geomorfológica, que consiste na utilização combinada dos métodos históricos, paleohidrológicos e hidrogeomorfológicos.

Os métodos hidrológico-hidráulicos são os mais utilizados actualmente devido à sua aptidão para entender e recriar os processos ligados ao escoamento e representar as áreas inundáveis em função da frequência e magnitude dos eventos de cheia. Com recurso à modelação hidráulica é possível determinar não só as áreas inundáveis, como também a altura de água e a velocidade do escoamento. É importante não esquecer que os modelos hidrológico-hidráulicos são muito exigentes no que à qualidade dos dados diz respeito, nomeadamente dos dados altimétricos, e à capacidade de processamento e computação, estando os resultados gerados muito dependentes destes aspectos. Ainda a este respeito, os modelos hidráulicos necessitam de valores de caudal referentes aos vários períodos de retorno, algo que nem sempre existe, sobretudo em pequenas bacias hidrográficas. Na ausência de dados hidrométricos, é necessário recorrer aos modelos hidrológicos, que possibilitam estimar os caudais a partir dos dados de precipitação e das características da bacia hidrográfica e das sub-bacias que a compõem. A avaliação da perigosidade às cheias rápidas resulta da conjugação entre a intensidade do fenómeno em cada ponto da área inundável, fornecida pela altura de água ou pela combinação entre altura de água e velocidade, e a sua recorrência.

Definidas as áreas inundáveis e os respectivos períodos de retorno, é necessário identificar o conjunto de elementos expostos: populações, edifícios, estruturas, infra-estruturas, actividades, etc.. Apesar de estar, essencialmente, relacionada com a dimensão espacial, a componente temporal também pode ser fundamental, já que a exposição humana pode variar consoante o dia da semana ou período do dia em que um fenómeno natural ocorre. O tipo de ocupação nos espaços residenciais é distinta da verificada nos espaços comerciais ou industriais, modificando-se nos dias úteis/fins-de-semana e/ou ao longo do dia.

Em função das suas próprias características e da magnitude dos eventos de cheia, os elementos expostos apresentam níveis de vulnerabilidade diferentes. A vulnerabilidade é considerada a componente do risco mais difícil de definir, avaliar e quantificar. Esta pode ser entendida enquanto propensão de um elemento exposto para ser afectado por um fenómeno natural ou como grau de perda. A vulnerabilidade tem sido uma temática de interesse para várias áreas científicas e, por isso, tem vários significados e definições dependendo de quem a estuda. Tal resulta na inexistência de um consenso científico, fazendo com que o conceito de vulnerabilidade possua abrangências diferentes. Neste sentido foram surgindo ao longo do tempo outros termos como susceptibilidade, resistência ou resiliência. Por outro lado, a interdisciplinaridade desta componente do risco motivou a existência de várias dimensões: estrutural/física, social, económica, ambiental ou institucional. Todo este contexto provoca, por sua vez, dificuldades acrescidas no que concerne à avaliação da vulnerabilidade.

São o valor dos elementos expostos e os danos causados que permitem determinar e quantificar o risco de cheias rápidas. O valor de um elemento depende da sua natureza, sendo quantificável com maior facilidade para os edifícios. Nestes casos, este pode ser obtido através dos valores dos cadastros prediais, valores de mercado ou custos de construção/reconstrução. Os métodos mais comuns para obtenção dos danos são as curvas e as matrizes de danos. As curvas de danos são as mais utilizadas, estabelecendo a relação entre a altura de água e o valor absoluto ou relativo dos danos/perdas em edifícios, em função do seu material de construção. Todavia, se este método se adequa para as cheias progressivas, o seu grau de incerteza para os efeitos causados por cheias rápidas ainda é elevado, devido à importância da velocidade do escoamento e do caudal sólido.

Como se percebe, a avaliação e quantificação do risco é um processo que se reveste de uma enorme complexidade. Em diversas situações a estimativa dos danos não é viável e, como tal, só é possível obter o risco específico/potencial. Há ainda que lembrar que uma análise de risco comporta incertezas inevitáveis em todas as suas componentes, algo que a disponibilidade e a qualidade de dados detalhados, a compreensão do processo natural em causa e a utilização das ferramentas e metodologias mais adequadas podem mitigar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - CAPÍTULO 6

- Adger, W.N., 2006. Vulnerability. *Glob. Environ. Chang.* 16, 268–281. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006
- Apel, H., Aronica, G.T., Kreibich, H., Thieken, A.H., 2009. Flood risk analyses - How detailed do we need to be? *Nat. Hazards* 49, 79–98. doi:10.1007/s11069-008-9277-8
- Arnaud-Fassetta, G., Astrade, L., Bardou, E., Corbonnois, J., Delahaye, D., Fort, M., Gautier, E., Jacobs, N., Peiry, J.L., Piégay, H., Penven, M.J., 2009. Géomorphologie fluviale et gestion des risques fluviaux. *Geomorphol. Reli. Process. Environ.* 109–128. doi:10.4000/geomorphologie.7554
- Aronica, G.T., Candela, A., Fabio, P., Santoro, M., 2012. Estimation of flood inundation probabilities using global hazard indexes based on hydrodynamic variables. *Phys. Chem. Earth* 42–44, 119–129. doi:10.1016/j.pce.2011.04.001
- Asselman, N., Bates, P., Fewtrell, T., Soares-Fraza, S., Zech, Y., Velickovic, M., de Wit, A., ter Matt, J., Verhoeven, G., 2009. Flood Inundation Modelling: Executive Summary. Report Number T08-08-01, FLOODsite Project.
- Baker, V.R., 2008. Paleoflood hydrology: Origin, progress, prospects. *Geomorphology* 101, 1–13. doi:10.1016/j.geomorph.2008.05.016
- Balica, S.F., Popescu, I., Beevers, L., Wright, N.G., 2013. Parametric and physically based modelling techniques for flood risk and vulnerability assessment: A comparison. *Environ. Model. Softw.* 41, 84–92. doi:10.1016/j.envsoft.2012.11.002
- Ballais, J.L., Garry, G., Masson, M., 2005. Contribution de l'hydrogéomorphologie à l'évaluation du risque d'inondation: Le cas du Midi méditerranéen français. *Comptes Rendus - Geosci.* 337, 1120–1130. doi:10.1016/j.crte.2005.06.010
- Bates, P.D., De Roo, A.P.J., 2000. A simple raster-based model for flood inundation simulation. *J. Hydrol.* 236, 54–77. doi:10.1016/S0022-1694(00)00278-X
- Bates, P.D., Horritt, M.S., Aronica, G., Beven, K., 2004. Bayesian updating of flood inundation likelihoods conditioned on flood extent data. *Hydrol. Process.* 18, 3347–3370. doi:10.1002/hyp.1499
- Becker, J.S., Taylor, H.L., Doody, B.J., Wright, K.C., Grunfest, E., Webber, D., 2015. A Review of People's Behavior in and around Floodwater. *Weather. Clim. Soc.* 7, 321–332. doi:10.1175/WCAS-D-14-00030.1
- Benito, G., Lang, M., Barriendos, M., Llasat, C., Francés, F., Ouada, T., Varyl, R., Enzel, Y., Bardossy, A., 2004. Use of Systematic, Palaeoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation. Review of Scientific Methods. *Nat. Hazards* 31, 623–643. doi:10.1023/B:NHAZ.0000024895.48463.eb
- Benito, G., Díez-Herrero, A., 2015. Palaeoflood Hydrology: Reconstructing Rare Events and Extreme Flood Discharges, in: Paron, P., Di Baldassare, G., Shoder Jr, J. (Eds.), *Hydro-Meteorological Hazards, Risks, and Disasters*. Elsevier, pp. 65–104. doi:10.1016/B978-0-12-394846-5.00003-5
- Beven, K., Binley, A., 1992. The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. *Hydrol. Process.* 6, 279–298. doi:10.1002/hyp.3360060305
- Beven, K., 2012. *Rainfall-Runoff Modelling*, 2nd editio. ed. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi:10.1002/9781119951001
- Beven, K., Almeida, S., Aspinall, W.P., Bates, P.D., Blazkova, S., Borgomeo, E., Freer, J., Goda, K., Hall, J.W., Phillips, J.C., Simpson, M., Smith, P.J., 2018. Epistemic uncertainties and natural hazard risk assessment – Part 1 : A review of different natural hazard areas. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 18,

2741–2768. doi:10.5194/nhess-18-2741-2018

- Birkmann, J., 2005. Danger need not spell disaster – But how vulnerable are we? Res. Brief, United States Univ. 1–8.
- Birkmann, J., 2006. Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definition, in: Birkmann, J. (Ed.), *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*. UNU-Press, Tokyo, pp. 7–54.
- Birkmann, J., Wisner, B., 2006. *Measuring the Un-Measurable: The Challenge of Vulnerability*. Studies of the University: Research, Counsel, Education. UNU- EHS.
- Birkmann, J., 2007. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environ. Hazards* 7, 20–31. doi:10.1016/j.envhaz.2007.04.002
- Birkmann, J., Cardona, O.D., Carreño, M.L., Barbat, A.H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P., Welle, T., 2013. Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. *Nat. Hazards* 67, 193–211. doi:10.1007/s11069-013-0558-5
- Borga, M., Gaume, E., Creutin, J.D., Marchi, L., 2008. Surveying flash floods: gauging the ungauged extremes. *Hydrol. Process.* 22, 3883–3885. doi:10.1002/hyp.7111
- Brabb, E., 1984. Innovative Approaches for Landslide Hazard Evaluation, in: IV International Symposium on Landslides. Toronto, Canadá, pp. 307–323.
- Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T., Singh, V.P., 2009. Assimilation of Observed Soil Moisture Data in Storm Rainfall-Runoff Modeling. *J. Hydrol. Eng.* 14, 153–165. doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2009)14:2(153)
- Büchle, B., Kreibich, H., Kron, A., Thieken, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B., Nestmann, F., 2006. Flood-risk mapping: Contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 6, 483–503. doi:10.5194/nhess-6-485-2006
- Camarasa-Belmonte, A.M., López-García, M.J., Soriano-García, J., 2011. Mapping temporally-variable exposure to flooding in small Mediterranean basins using land-use indicators. *Appl. Geogr.* 31, 136–145. doi:10.1016/j.apgeog.2010.03.003
- Camarasa-Belmonte, A.M., Soriano-García, J., 2012. Flood risk assessment and mapping in peri-urban Mediterranean environments using hydrogeomorphology. Application to ephemeral streams in the Valencia region (eastern Spain). *Landsc. Urban Plan.* 104, 189–200. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.10.009
- Cardona, O.D., 2003. The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective, in: Bankoff, G., Frerks, G., Hilhorst, D. (Eds.), *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*. Earthscan Publishers, London, pp. 37–51. doi:10.4324/9781849771924
- Castellarin, A., Vogel, R.M., Matalas, N.C., 2005. Probabilistic behavior of a regional envelope curve. *Water Resour. Res.* 41. doi:10.1029/2004WR003042
- Castellarin, A., Domeneghetti, A., Brath, A., 2011. Identifying robust large-scale flood risk mitigation strategies: A quasi-2D hydraulic model as a tool for the Po river. *Phys. Chem. Earth* 36, 299–308. doi:10.1016/j.pce.2011.02.008
- Caviedes-Voullième, D., Morales-Hernández, M., López-Marijuan, I., García-Navarro, P., 2014. Reconstruction of 2D river beds by appropriate interpolation of 1D cross-sectional information for flood simulation. *Environ. Model. Softw.* 61, 206–228. doi:10.1016/j.envsoft.2014.07.016
- Chen, K., McAneney, J., Blong, R., Leigh, R., Hunter, L., Magill, C., 2004. Defining area at risk and its effect in catastrophe loss estimation: a dasymetric mapping approach. *Appl. Freq. Risk Water*

- Resour. 24, 97–117. doi:10.1016/j.apgeog.2004.03.005
- Chow, V. Te, Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. Applied Hydrology. Mc-Graw-Hill.
- Christofoletti, A., 1986. Análise topográfica de bacias de drenagem. Geociências 5–6, 1–29.
- Costabile, P., Macchione, F., Natale, L., Petaccia, G., 2015. Flood mapping using LIDAR DEM. Limitations of the 1-D modeling highlighted by the 2-D approach. Nat. Hazards 77, 181–204. doi:10.1007/s11069-015-1606-0
- Cox, L.A., 2008. What's wrong with risk matrices? Risk Anal. 28, 497–512. doi:10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x
- Cutter, S.L., 1996. Vulnerability to environmental hazards. Prog. Hum. Geogr. 20, 529–539. doi:10.1177/030913259602000407
- Cutter, S.L., Burton, C.G., Emrich, C.T., 2010. Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. J. Homel. Secur. Emerg. Manag. 7, 1–22. doi:10.2202/1547-7355.1732
- Cutter, S.L., 2011. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. Rev. Crit. Cienc. Sociais 72, 59–69. doi:10.4000/rccs.165
- Cutter, S.L., Ash, K.D., Emrich, C.T., 2014. The geographies of community disaster resilience. Glob. Environ. Chang. 29, 65–77. doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.08.005
- de Bruijn, K.M., 2004. Resilience indicators for flood risk management systems of lowland rivers. Int. J. River Basin Manag. 2, 199–210. doi:10.1080/15715124.2004.9635232
- de Bruijn, K.M., Green, C., Johnson, C., McFadden, L., 2007. Evolving concepts in flood risk management: searching for a common language, in: Begum, S., Stive, M.J.F., Hall, J.W. (Eds.), Flood Risk Management in Europe. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol 25. Springer, Dordrecht, pp. 61–75. doi:10.1007/978-1-4020-4200-3_4
- de Moel, H., Van Alphen, J., Aerts, J.C.J.H., 2009. Flood maps in Europe - Methods, availability and use. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 9, 289–301. doi:10.5194/nhess-9-289-2009
- de Moel, H., Aerts, J.C.J.H., 2011. Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. Nat. Hazards 58, 407–425. doi:10.1007/s11069-010-9675-6
- de Moel, H., Jongman, B., Kreibich, H., Merz, B., Penning-Rowsell, E., Ward, P.J., 2015. Flood risk assessments at different spatial scales. Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang. 20, 865–890. doi:10.1007/s11027-015-9654-z
- Di Baldassarre, G., Schumann, G., Bates, P.D., Freer, J.E., Beven, K.J., 2010. Cartographie de zone inondable: Un examen critique d'approches déterministe et probabiliste. Hydrol. Sci. J. 55, 364–376. doi:10.1080/02626661003683389
- Diakakis, M., 2011. A method for flood hazard mapping based on basin morphometry: Application in two catchments in Greece. Nat. Hazards 56, 803–814. doi:10.1007/s11069-010-9592-8
- Dias, L., Braunschweig, F., Grosso, N., Costa, H., Garrett, P., 2014. Guia metodológico para a produção de cartografia de risco de inundações. Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, L., Llorente-Isidro, M., 2008. Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones – Guia metodológica para su elaboración. Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia N°1, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Douglas, J., 2007. Physical vulnerability modelling in natural hazard risk assessment. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 7, 283–288. doi:10.5194/nhess-7-283-2007
- Duarte, A., Borges, B., Ramos, C., Pedro, P., Pancada, R., 2005. Cheias rápidas em áreas urbanas e sua

- percepção: o caso da bacia da ribeira de Odivelas. X Colóquio Ibérico Geogr. 1–15.
- Enzel, Y., Ely, L.L., House, P.K., Baker, V.R., Webb, R.H., 1993. Paleoflood evidence for a natural upper bound to flood magnitudes in the Colorado River Basin. *Water Resour. Res.* 29, 2287–2297. doi:10.1029/93WR00411
- Ettinger, S., Mounaud, L., Magill, C., Yao-Lafourcade, A.F., Thouret, J.C., Manville, V., Negulescu, C., Zuccaro, G., De Gregorio, D., Nardone, S., Uchuchoque, J.A.L., Arguedas, A., Macedo, L., Manrique Llerena, N., 2016. Building vulnerability to hydro-geomorphic hazards: Estimating damage probability from qualitative vulnerability assessment using logistic regression. *J. Hydrol.* 541, 563–581. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.04.017
- EXCIMAP, 2007. Handbook on good practices for flood mapping in Europe. European exchange circle on flood mapping.
- Fekete, A., 2009. Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 393–403. doi:10.5194/nhess-9-393-2009
- Fekete, A., Damm, M., Birkmann, J., 2010. Scales as a challenge for vulnerability assessment. *Nat. Hazards* 55, 729–747. doi:10.1007/s11069-009-9445-5
- Fernandez, P., Mourato, S., Moreira, M., 2013. Comparação dos modelos HEC-RAS e LISFLOOD-FP na delimitação de zonas inundáveis. *Rev. Recur. Hídricos* 34, 63–73. doi:10.5894/rh34n1-5
- Finaud-Guyot, P., Delenne, C., Guinot, V., Llovel, C., 2011. 1D–2D coupling for river flow modeling. *Comptes Rendus - Mec.* 339, 226–234. doi:10.1016/j.crme.2011.02.001
- Folke, C., 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Glob. Environ. Chang.* 16, 253–267. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002
- Fothergill, A., Maestas, E.G.M., Darlington, J.D., 1999. Race, Ethnicity and Disasters in the United States: A Review of the Literature. *Disasters* 23, 156–173. doi:10.1111/1467-7717.00111
- Foudi, S., Osés-Eraso, N., Tamayo, I., 2015. Integrated spatial flood risk assessment: The case of Zaragoza. *Land use policy* 42, 278–292. doi:10.1016/j.landusepol.2014.08.002
- Freni, G., La Loggia, G., Notaro, V., 2010. Uncertainty in urban flood damage assessment due to urban drainage modelling and depth-damage curve estimation. *Water Sci. Technol.* 61, 2979–2993. doi:10.2166/wst.2010.177
- Fuchs, S., Heiss, K., Hübl, J., 2007. Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 7, 495–506. doi:10.5194/nhess-7-495-2007
- Fuchs, S., 2009. Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria - paradigms of vulnerability revisited. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 337–352. doi:10.5194/nhess-9-337-2009
- Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D., Stancalie, G., Szolgay, J., Tsanis, I., Velasco, D., Viglione, A., 2009. A compilation of data on European flash floods. *J. Hydrol.* 367, 70–78. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.12.028
- Glade, T., Crozier, M.J., 2012. The Nature of Landslide Hazard Impact, in: Glade, T., Anderson, M., Crozier, M.J. (Eds.), *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex, England, pp. 41–74. doi:10.1002/9780470012659.ch2
- Glaser, R., 1996. Data and Methods of Climatological Evaluation in Historical Climatology. *Hist. Soc. Res.* 21, 56–88.
- Granger, K., Jones, T., Leiba, M., Scott, G., 1999. Community Risk in Cairns: a multihazards risk assessment.

- Grimaldi, S., Petroselli, A., Arcangeletti, E., Nardi, F., 2013. Flood mapping in ungauged basins using fully continuous hydrologic-hydraulic modeling. *J. Hydrol.* 487, 39–47. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.02.023
- Hall, J.W., Tarantola, S., Bates, P.D., Horritt, M.S., 2005. Distributed sensitivity analysis of flood inundation model calibration. *J. Hydraul. Eng.* 131, 117–126.
- Hammond, M.J., Chen, A.S., Djordjević, S., Butler, D., Mark, O., 2015. Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review. *Urban Water J.* 12, 14–29. doi:10.1080/1573062X.2013.857421
- Holub, M., Hübl, J., 2008. Local protection against mountain hazards - State of the art and future needs. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 8, 81–99. doi:10.5194/nhess-8-81-2008
- Horritt, M.S., Bates, P.D., 2002. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *J. Hydrol.* 268, 87–99. doi:10.1016/S0022-1694(02)00121-X
- Horritt, M.S., 2006. A methodology for the validation of uncertain flood inundation models. *J. Hydrol.* 326, 153–165. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.10.027
- Horton, R.E., 1932. Drainage-basin characteristics. *Eos, Trans. Am. Geophys. Union* 13, 350–361. doi:10.1029/TR013i001p00350
- HR Wallingford, 2006. The Flood Risks to People. FD2321/TR1 The Flood Risks to People Methodology.
- Huizinga, J., Moel, H. de, Szewczyk, W., 2017. Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines. JRC Technical Reports. Joint Research Centre, European Commission. doi:10.2760/16510
- Hunter, N.M., Bates, P.D., Horritt, M.S., De Roo, A.P.J., Werner, M.G.F., 2005. Utility of different data types for calibrating flood inundation models within a GLUE framework. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 9, 412–430. doi:10.5194/hess-9-412-2005
- Hunter, N.M., Bates, P.D., Horritt, M.S., Wilson, M.D., 2007. Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: A review. *Geomorphology* 90, 208–225. doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.021
- Ishigaki, T., Kawanaka, R., Onishi, Y., Shimada, H., Toda, K., Baba, Y., 2009. Assessment of Safety on Evacuating Route During Underground Flooding, in: *Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 141–146. doi:10.1007/978-3-540-89465-0_27
- Jacinto, R., Grosso, N., Reis, E., Dias, L., Santos, F.D., Garrett, P., 2015. Continental Portuguese Territory Flood Susceptibility Index – contribution to a vulnerability index. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 15, 1907–1919. doi:10.5194/nhess-15-1907-2015
- Jha, A.K., Bloch, R., Lamond, J., 2012. Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. World Bank. doi:10.1596/978-0-8213-8866-2
- Jonkman, S.N., Kelman, I., 2005. An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disaster* 29, 75–97. doi:doi.org/10.1111/j.0361-3666.2005.00275.x
- Jonkman, S.N., Penning-Rowsell, E., 2008. Human instability in flood flows. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 44, 1–11. doi:10.1111/j.1752-1688.2008.00217.x
- Jonkman, S.N., Bočkarjova, M., Kok, M., Bernardini, P., 2008. Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. *Ecol. Econ.* 66, 77–90. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.12.022
- Jowett, I.G., Duncan, M.J., 2012. Effectiveness of 1D and 2D hydraulic models for instream habitat analysis in a braided river. *Ecol. Eng.* 48, 92–100. doi:10.1016/j.ecoleng.2011.06.036

- Julião, R.P., Nery, F., Ribeiro, J.L., Branco, M.C., Zêzere, J.L., 2009. Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal. Autoridade Nacional de Protecção Civil, Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Instituto Geográfico Português.
- Kalyanapu, A.J., Judi, D.R., McPherson, T.N., Burian, S.J., 2012. Monte Carlo-based flood modelling framework for estimating probability weighted flood risk. *J. Flood Risk Manag.* 5, 37–48. doi:10.1111/j.1753-318X.2011.01123.x
- Kappes, M.S., Papathoma-Köhle, M., Keiler, M., 2012. Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. *Appl. Geogr.* 32, 577–590. doi:10.1016/j.apgeog.2011.07.002
- Kelman, I., Spence, R., 2004. An overview of flood actions on buildings. *Eng. Geol.* 73, 297–309. doi:10.1016/j.enggeo.2004.01.010
- Kjeldsen, T.R., Macdonald, N., Lang, M., Mediero, L., Albuquerque, T., Bogdanowicz, E., Brázdil, R., Castellarin, A., David, V., Fleig, A., Gu'ıl, G.O., Kriauciuniene, J., Kohnova', S., Merz, B., Nicholson, O., Roald, L.A., Salinas, J.L., Sarauskiene, D., S'raj, M., Strupczewski, W., Szolgay, J., Toumazis, A., Vanneuville, W., Veijalainen, N., Wilson, D., 2014. Documentary evidence of past floods in Europe and their utility in flood frequency estimation. *J. Hydrol.* 517, 963–973. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.06.038
- Knight, D.W., Shiono, K., 1996. River Channel and Floodplain Hydraulics, in: Anderson, M.G., Walling, D.E., Bates, P.D. (Eds.), *Floodplain Processes*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 139–181.
- Kochel, R.C., Baker, V.R., 1982. Paleoflood Hydrology. *Science* (80-.). 215, 353–361. doi:10.1126/science.215.4531.353
- Koks, E.E., Jongman, B., Husby, T.G., Botzen, W.J.W., 2015. Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environ. Sci. Policy* 47, 42–52. doi:10.1016/j.envsci.2014.10.013
- Kourgialas, N., Karatzas, G.P., 2014. A hydro-sedimentary modeling system for flash flood propagation and hazard estimation under different agricultural practices. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14, 625–634. doi:10.5194/nhess-14-625-2014
- Kreibich, H., Müller, M., Thieken, A.H., Merz, B., 2007. Flood precaution of companies and their ability to cope with the flood in August 2002 in Saxony, Germany. *Water Resour. Res.* 43, 1–15. doi:10.1029/2005WR004691
- Kreibich, H., Seifert, I., Merz, B., Thieken, A.H., 2010. Development of FLEMOcs – a new model for the estimation of flood losses in the commercial sector. *Hydrol. Sci. J.* 55, 1302–1314. doi:10.1080/02626667.2010.529815
- Kuhlicke, C., Scolobig, A., Tapsell, S., Steinführer, A., De Marchi, B., 2011. Contextualizing social vulnerability: findings from case studies across Europe. *Nat. Hazards* 58, 789–810. doi:10.1007/s11069-011-9751-6
- Lastra, J., Fernández, E., Díez-Herrero, A., Marquínez, J., 2008. Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: An example in the Northern Iberian Peninsula. *Nat. Hazards* 45, 277–293. doi:10.1007/s11069-007-9164-8
- Lavrador-Silva, A., 2002. Avaliação das paisagens da bacia hidrográfica da ribeira de Colares: estudo geográfico e de percepção ambiental. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ambiente, Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Leal, M., 2011. As cheias rápidas em bacias hidrográficas da AML Norte: factores condicionantes e desencadeantes. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território,

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

- Leal, M., Ramos, C., 2013. Susceptibilidade às cheias na Área Metropolitana De Lisboa Norte: factores de predisposição e impactes das mudanças de uso do solo. *Finisterra* 95, 17–40. doi:<https://doi.org/10.18055/Finis3129>
- Leone, F., Asté, J.-P., Leroi, E., 1996. Vulnerability assessment of elements exposed to mass-movement: working toward a better risk perception, in: Senneset, K. (Ed.), *Landslides-Glissements de Terrain*. Balkema, Rotterdam, pp. 263–270.
- Lindenschmidt, K.E., Huang, S., Baborowski, M., 2008. A quasi-2D flood modeling approach to simulate substance transport in polder systems for environment flood risk assessment. *Sci. Total Environ.* 397, 86–102. doi:[10.1016/j.scitotenv.2008.02.045](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.02.045)
- Lúcio, C., 2014. Análise do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Rio de Loures e modelação da sua susceptibilidade a cheias. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Lumbroso, D., Gaume, E., 2012. Reducing the uncertainty in indirect estimates of extreme flash flood discharges. *J. Hydrol.* 414–415, 16–30. doi:[10.1016/j.jhydrol.2011.08.048](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.048)
- Maidment, D.R., 1993. *Handbook of Hydrology*. Mc-Graw-Hill.
- Manfreda, S., Nardi, F., Samela, C., Grimaldi, S., Taramasso, A.C., Roth, G., Sole, A., 2014. Investigation on the use of geomorphic approaches for the delineation of flood prone areas. *J. Hydrol.* 517, 863–876. doi:[10.1016/j.jhydrol.2014.06.009](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.06.009)
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., Gaume, E., 2010. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *J. Hydrol.* 394, 118–133. doi:[10.1016/j.jhydrol.2010.07.017](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.017)
- Maskey, S., Guinot, V., Price, R.K., 2004. Treatment of precipitation uncertainty in rainfall-runoff modelling: A fuzzy set approach. *Adv. Water Resour.* 27, 889–898. doi:[10.1016/j.advwatres.2004.07.001](https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.07.001)
- Menoni, S., Galderisi, A., Ceudech, A., Delmonaco, G., Margottini, C., Spizzichino, D., 2006. Harmonised hazard, vulnerability and risk assessment methods informing mitigation strategies addressing land-use planning and management. Milano.
- Mens, M.J.P., Klijn, F., de Bruijn, K.M., van Beek, E., 2011. The meaning of system robustness for flood risk management. *Environ. Sci. Policy* 14, 1121–1131. doi:[10.1016/j.envsci.2011.08.003](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.08.003)
- Merz, B., Kreibich, H., Thielen, A., Schmidtke, R., 2004. Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 4, 153–163. doi:<https://doi.org/10.5194/nhess-4-153-2004>
- Merz, B., Thielen, A.H., Gocht, M., 2007. Flood risk mapping at the local scale: Concepts and challenges. *Adv. Nat. Technol. Hazards Res.* 25, 231–251. doi:[10.1007/978-1-4020-4200-3_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4200-3_13)
- Merz, B., Thielen, A.H., 2009. Flood risk curves and uncertainty bounds. *Nat. Hazards* 51, 437–458. doi:[10.1007/s11069-009-9452-6](https://doi.org/10.1007/s11069-009-9452-6)
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., Thielen, A., 2010. Review article “assessment of economic flood damage.” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10, 1697–1724. doi:[10.5194/nhess-10-1697-2010](https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010)
- Merz, B., Thielen, A., Kreibich, H., 2011. Quantification of Socio-Economic Flood Risks, in: Schumann, A.H. (Ed.), *Flood Risk Assessment and Management: How to Specify Hydrological Loads, Their Consequences and Uncertainties*. Springer, pp. 229–247.
- Messner, F., Meyer, V., 2006. Flood damage, vulnerability and risk perception - challenges for flood

- damage research, in: Schanze, J., Zeman, E., Marsalek, J. (Eds.), *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. NATO Science Series: Earth and Environmental Sciences – Vol. 67, Springer, Dordrecht, pp. 149–167.
- Meyer, V., Scheuer, S., Haase, D., 2009. A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Nat. Hazards* 48, 17–39. doi:10.1007/s11069-008-9244-4
- Middelmann-Fernandes, M.H., 2010. Flood damage estimation beyond stage-damage functions: An Australian example. *J. Flood Risk Manag.* 3, 88–96. doi:10.1111/j.1753-318X.2009.01058.x
- Milanesi, L., Pilotti, M., Belleri, A., Marini, A., Fuchs, S., 2018. Vulnerability to Flash Floods: A Simplified Structural Model for Masonry Buildings. *Water Resour. Res.* 7177–7197. doi:10.1029/2018WR022577
- Mimikou, M., 1984. Envelope curves for extreme flood events in northwestern and western Greece. *J. Hydrol.* 67, 55–66. doi:10.1016/0022-1694(84)90232-4
- Morales-Hernández, M., García-Navarro, P., Burguete, J., Brufau, P., 2013. A conservative strategy to couple 1D and 2D models for shallow water flow simulation. *Comput. Fluids* 81, 26–44. doi:10.1016/j.compfluid.2013.04.001
- Moussa, R., Bocquillon, C., 1996. Criteria for the choice of flood-routing methods in natural channels. *J. Hydrol.* 186, 1–30.
- Papathoma-Köhle, M., Neuhäuser, B., Ratzinger, K., Wenzel, H., Dominey-Howes, D., 2007. Elements at risk as a framework for assessing the vulnerability of communities to landslides. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 7, 765–779. doi:10.5194/nhess-7-765-2007
- Papathoma-Köhle, M., Kappes, M., Keiler, M., Glade, T., 2011. Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. *Nat. Hazards* 58, 645–680. doi:10.1007/s11069-010-9632-4
- Papathoma-Köhle, M., Keiler, M., Totschnig, R., Glade, T., 2012. Improvement of vulnerability curves using data from extreme events: debris flow event in South Tyrol. *Nat. Hazards* 64, 2083–2105. doi:10.1007/s11069-012-0105-9
- Papathoma-Köhle, M., 2016. Vulnerability curves vs. vulnerability indicators: application of an indicator-based methodology for debris-flow hazards. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, 1771–1790. doi:10.5194/nhess-16-1771-2016
- Papathoma-Köhle, M., Gems, B., Sturm, M., Fuchs, S., 2017. Matrices, curves and indicators: A review of approaches to assess physical vulnerability to debris flows. *Earth-Science Rev.* 171, 272–288. doi:10.1016/j.earscirev.2017.06.007
- Papathoma-Köhle, M., Cristofari, G., Wenk, M., Fuchs, S., 2019. The importance of indicator weights for vulnerability indices and implications for decision making in disaster management. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* doi:10.1016/j.ijdrr.2019.101103
- Pappenberger, F., Matgen, P., Beven, K.J., Henry, J.B., Pfister, L., Fraipont, P., 2006. Influence of uncertain boundary conditions and model structure on flood inundation predictions. *Adv. Water Resour.* 29, 1430–1449. doi:10.1016/j.advwatres.2005.11.012
- Pelling, M., 1998. Participation, social capital and vulnerability to urban flooding in Guyana. *J. Int. Dev.* 10, 469–486. doi:10.1002/(SICI)1099-1328(199806)10:4<469::AID-JID539>3.0.CO;2-4
- Penning-Rowsell, E., Johnson, C., Tunstall, S., Tapsell, S., Morris, J., Chatterton, J., Green, C., 2005. *The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Handbook of Assessment Techniques*. Middlesex University Press. doi:10.1596/978-0-8213-8050-5
- Pereira, S., Zêzere, J.L., Quaresma, I., Santos, P.P., Santos, M., 2016. Mortality patterns of hydro-

- geomorphologic disasters. *Risk Anal.* 36, 22. doi:10.1111/risa.12516
- Pereira, S., Diakakis, M., Deligiannakis, G., Zêzere, J.L., 2017a. Comparing flood mortality in Portugal and Greece (Western and Eastern Mediterranean). *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 22, 147–157. doi:10.1016/j.ijdrr.2017.03.007
- Pereira, S., Garcia, R.A.C., Zêzere, J.L., Oliveira, S.C., Silva, M., 2017b. Landslide quantitative risk analysis of buildings at the municipal scale based on a rainfall triggering scenario scale based on a rainfall triggering scenario. *Geomatics, Nat. Hazards Risk* 8, 624–648. doi:10.1080/19475705.2016.1250116
- Prinos, P., Kortenhaus, A., Swerpel, B., Jiménez, J.A., Samuels, P., 2008. Review of Flood Hazard Mapping., FLOODsite Report Number T03-07-01. Report Number T03-07-01, FLOODsite Project.
- Quintela, A.C., Portela, M.M., 2002. A modelação hidrológica em Portugal nos últimos 25 anos do século XX, nas perspectivas determinística, probabilística e estocástica. Edição comemorativa dos 25 Anos da Assoc. Port. Recur. Hídricos, Assoc. Port. Recur. Hídricos 23, 7–22.
- Ramos, C., 2009. Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território. Núcleo de Investigação em Sistemas Litorais e Fluviais: Dinâmicas, Mudanças Ambientais e Ordenamento do Território (SLIF – 6), Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Raška, P., Emmer, A., 2014. The 1916 catastrophic flood following the Bílá Desná dam failure: The role of historical data sources in the reconstruction of its geomorphologic and landscape effects. *Geomorphology* 226, 135–147. doi:10.1016/j.geomorph.2014.08.002
- Reis, E., 1996. Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica na Análise Morfológica de Bacias Hidrográficas. Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Reis, E., 2006. As bacias hidrográficas das Ribeiras da Serra de Grândola – dinâmica hidrológica e factores condicionantes. Dissertação de doutoramento em Geografia (Geografia Física), Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Reis, E., 2011. Análise de bacias hidrográficas, susceptibilidade à ocorrência de cheias e Sistemas de Informação Geográfica: da definição do quadro conceptual até à proposta de um modelo de avaliação, in: VIII Congresso Da Geografia Portuguesa. Associação Portuguesa de Geógrafos, Lisboa, CD-ROM - SIG-130-598-2.
- Remondo, J., Bonachea, J., Cendrero, A., 2008. Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences. *Geomorphology* 94, 496–507. doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.041
- Romanowicz, R., Beven, K., 2003. Estimation of flood inundation probabilities as conditioned on event inundation maps. *Water Resour. Res.* 39, 1–12. doi:10.1029/2001WR001056
- Rufat, S., Tate, E., Burton, C.G., Maroof, A.S., 2015. Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 14, 470–486. doi:10.1016/j.ijdrr.2015.09.013
- Sanders, B.F., 2007. Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. *Adv. Water Resour.* 30, 1831–1843. doi:10.1016/j.advwatres.2007.02.005
- Santos, P.P., 2009. Cartografia de áreas inundáveis a partir do método de reconstituição hidrogeomorfológica e método hidrológico-hidráulico. Estudo comparativo na bacia hidrográfica do Rio Arunca. Dissertação de Mestrado em Geociências, área de Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Santos, P.P., Tavares, A.O., Andrade, A.I.A.S.S., 2011. Comparing historical-hydrogeomorphological

- reconstitution and hydrological-hydraulic modelling in the estimation of flood-prone areas-a case study in Central Portugal. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 11, 1669–1681. doi:10.5194/nhess-11-1669-2011
- Santos, P.P., Tavares, A.O., Zêzere, J.L., 2014. Risk analysis for local management from hydro-geomorphologic disaster databases. *Environ. Sci. Policy* 40, 85–100. doi:10.1016/j.envsci.2013.12.007
- Santos, P.P., 2015. Cheias e inundações: avaliação, impactos e instrumentos para a gestão do risco. Dissertação de Doutoramento em Território, Risco e Políticas Públicas, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- Santos, P.P., Reis, E., 2017. Assessment of stream flood susceptibility: a cross-analysis between model results and flood losses. *J. Flood Risk Manag.* 11, 1038–1050. doi:10.1111/jfr3.12290
- Santos, P.P., Reis, E., Pereira, S., Santos, M., 2019. A flood susceptibility model at the national scale based on multicriteria analysis. *Sci. Total Environ.* 667, 325–337. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.02.328
- Sarhadi, A., Soltani, S., Modarres, R., 2012. Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. *J. Hydrol.* 458–459, 68–86. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.06.039
- Silva, D., 2008. Integração de Ferramentas de SIG na Modelação Hidrológica de Pequenas Bacias Hidrográficas. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, área de especialização de Tratamento de Águas e Águas Residuais, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.
- Smith, D.I., 1994. Flood damage estimation - a review of urban stage-damage curves and loss functions. *Water SA* 20, 231–238. doi:10.1007/978-981-287-365-1_13
- Smith, K., Ward, R., 1998. *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. Wiley, Chichester.
- Soeters, R., van Westen, C.J., 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation, in: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides, Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., pp. 129–177.
- Solín, Sládeková Madajová, M., Michaleje, L., 2018. Vulnerability assessment of households and its possible reflection in flood risk management: The case of the upper Myjava basin, Slovakia. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 28, 640–652. doi:10.1016/j.ijdrr.2018.01.015
- Spekkers, M.H., Clemens, F.H.L.R., Ten Veldhuis, J.A.E., 2015. On the occurrence of rainstorm damage based on home insurance and weather data. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 15, 261–272. doi:10.5194/nhess-15-261-2015
- Stedinger, J.R., Baker, V.R., 1987. Surface water hydrology: Historical and paleoflood information. *Rev. Geophys.* 25, 119. doi:10.1029/RG025i002p00119
- Stephenson, V., D'Ayala, D., 2014. A new approach to flood vulnerability assessment for historic buildings in England. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14, 1035–1048. doi:10.5194/nhess-14-1035-2014
- Thieken, A.H., Müller, M., Kreibich, H., Merz, B., 2005. Flood damage and influencing factors: New insights from the August 2002 flood in Germany. *Water Resour. Res.* 41, 1–16. doi:10.1029/2005WR004177
- Thieken, A.H., Müller, M., Kleist, L., Seifert, I., Borst, D., Werner, U., 2006. Regionalisation of asset values for risk analyses. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 6, 167–178. doi:10.5194/nhess-6-167-2006

- Thieken, A.H., Kreibich, H., Müller, M., Merz, B., 2007. Coping with floods: Preparedness, response and recovery of flood-affected residents in Germany in 2002. *Hydrol. Sci. J.* 52, 1016–1037. doi:10.1623/hysj.52.5.1016
- Țîncu, R., Zêzere, J.L., Lazar, G., 2018. Identification of elements exposed to flood hazard in a section of Trotus River, Romania. *Geomatics, Nat. Hazards Risk* 9, 950–969. doi:10.1080/19475705.2018.1486891
- Trancoso, A.R., Braunschweig, F., Chambel Leitão, P., Obermann, M., Neves, R., 2009. An advanced modelling tool for simulating complex river systems. *Sci. Total Environ.* 407, 3004–3016. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.01.015
- UNDRO, 1979. Natural Disasters and Vulnerability Analysis. Report of Expert Group Meeting, Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator.
- van der Veen, A., Dopheide, E., Parker, D., Tapsell, S., Handmer, J., Gregg, C., Bonadonna, C., Ferrara, F.F., 2009. WP1: State-of-the-art on vulnerability types; Del. 1.1.3: Methodologies to assess vulnerability of structural, territorial and economic systems; Task 1.3: State-of-art on vulnerability of socio-economic systems.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Paris. doi:10.1016/B978-008043013-3/50018-3
- Wagenaar, D.J., de Bruijn, K., M., Bouwer, L.M., de Moel, H., 2016. Uncertainty in flood damage estimates and its potential effect on investment decisions. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, 1–14. doi:10.5194/nhess-16-1-2016
- Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S.R., Kinzig, A., 2004. Resilience, Adaptability and Transformability in Social– ecological Systems. *Ecol. Soc.* 9.
- Walker, G., Burningham, K., 2011. Flood risk, vulnerability and environmental justice : Evidence and evaluation of inequality in a UK context. *Crit. Soc. Policy* 31, 216–240. doi:10.1177/0261018310396149
- Werner, M.G.F., 2004. A comparison of flood extent modelling approaches through constraining uncertainties on gauge data. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 8, 1141–1152. doi:10.5194/hess-8-1141-2004
- White, G.F., 1945. Human adjustment to flood. University of Chicago, Department of Geography, Chicago.
- Whittle, R., Medd, W., Deeming, H., Kashefi, E., Mort, M., Twigger Ross, C., Walker, G., Watson, N., 2010. After the Rain – learning the lessons from flood recovery in Hull. Final project report for “Flood, Vulnerability and Urban Resilience: a real-time study of local recovery following the floods of June 2007 in Hull”, Lancaster University, Lancaster, Reino Unido.
- Winsemius, H.C., Van Beek, L.P.H., Jongman, B., Ward, P.J., Bouwman, A., 2013. A framework for global river flood risk assessments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 1871–1892. doi:10.5194/hess-17-1871-2013
- WMO, 2006. Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards. TD No. 955, World Meteorological Organization. doi:10.1002/9781118281116
- WMO, 2013. Conducting flood loss assessments. Integrated Flood Management Tools Series No.2, World Meteorological Organization.
- Yevjevich, V., Harmancioglu, N.B., 1987. Research Needs on Flood Characteristics, in: Singh, V.P. (Ed.), Application of Frequency and Risk in Water Resources. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 1–21. doi:10.1007/978-94-009-3955-4_1

- Zêzere, J.L., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C., Reis, E., 2008. Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology* 94, 467–495. doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.040
- Zêzere, J.L., Pereira, S., Tavares, A.O., Bateira, C., Trigo, R.M., Quaresma, I., Santos, P.P., Santos, M., Verde, J., 2014. DISASTER: A GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Nat. Hazards* 72, 503–532. doi:10.1007/s11069-013-1018-y
- Zimmermann, M., Pozzi, A., Stoessel, F., 2005. VADEMECUM. Hazard maps and related instruments. The Swiss system and its application abroad. Capitalisation of experience. PLANAT, the Swiss National Platform Natural Hazards, Swiss Agency for Development and Cooperation, Bern. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2

CAPÍTULO 7

CARACTERIZAÇÃO GERAL E FACTORES CONDICIONANTES DAS CHEIAS RÁPIDAS NA BACIA DE BARCARENA

Este capítulo pretende apresentar a caracterização física e da ocupação do solo da bacia hidrográfica da ribeira de Barcarena. Estas características influenciam o comportamento hidrológico da bacia quando ocorrem episódios de precipitação, constituindo, por isso, os factores condicionantes (permanentes e variáveis) das cheias rápidas. A escolha da bacia de Barcarena para avaliar as diversas componentes do risco de cheias rápidas, realizada nos capítulos 8 e 9, está relacionada com vários aspectos. Em primeiro lugar, interessava efectuar esta avaliação numa bacia com um histórico relevante de problemas ligados a cheias rápidas (figuras 4.29 e 5.30), mas em que não existissem estudos detalhados relacionados com esta temática. Por outro lado, a situação actual da bacia de Barcarena continua a justificar a realização de uma avaliação do risco de cheias rápidas, pois, apesar das intervenções estruturais realizadas, ainda existem edifícios localizados em leito de cheia. Por último, optou-se por uma bacia em que, pelo menos, o curso de água principal não está canalizado subterraneamente, com uma única excepção: a passagem hidráulica em que a ribeira de Barcarena está canalizada sob o IC-19, imediatamente a sul de Agualva-Cacém.

A bacia de Barcarena reparte-se pelos territórios dos municípios de Sintra (69%) e de Oeiras (31%), estando nela incluídas diversas localidades como Agualva-Cacém, Barcarena, Caxias, Massamá, Mira-Sintra, Queijas ou São Marcos (figura 7.1). A nascente da ribeira de Barcarena situa-se na serra da Carregueira, a sul da localidade de Almornos, freguesia de Almargem do Bispo, Pêro Pinheiro e Montelavar, desaguando no estuário do rio Tejo, em Caxias. Apesar de ser, normalmente, conhecida como ribeira de Barcarena, esta assume outras designações ao longo do seu percurso, como ribeira das Jardas ou ribeira dos Ossos. Trata-se de uma ribeira muito intervencionada nos sectores intermédio e terminal, onde existem diversas secções regularizadas. Numa parte significativa dos seus percursos, o curso de água principal e os seus principais afluentes estão confinados em muros de betão, pedra ou outro revestimento. Ao contrário do que acontece na

ribeira de Barcarena, os seus afluentes mais relevantes estão canalizados subterraneamente nos locais com elevadas densidades de construção (Aqualva-Cacém, Massamá, Barcarena e Queijas).



Figura 7.1 Bacia hidrográfica de Barcarena e seu enquadramento na AML.

7.1. RECOLHA E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Todas as bacias hidrográficas da AML referidas nos capítulos anteriores, incluindo a de Barcarena, foram delimitadas com recurso a modelos gerados com dados altimétricos à escala 1:25 000. Contudo, a avaliação da susceptibilidade e da perigosidade às cheias rápidas exige informação altimétrica mais detalhada. Note-se que a delimitação de uma qualquer bacia hidrográfica através de dados com diferentes graus de pormenor irá originar sempre resultados finais diferentes. Isto explica por que razão a área e os limites da bacia de Barcarena apresentados neste capítulo são um pouco diferentes em comparação com os mostrados anteriormente.

A bacia hidrográfica de Barcarena foi delimitada de forma automática em ambiente SIG, através da ferramenta *watershed* do programa *ArcMap*. Para isso, recorreu-se a curvas de nível e a pontos cotados fornecidos pelas Câmaras Municipais de Oeiras e de Sintra (tabela 7.1). Se no caso de Oeiras a informação tem sempre uma escala 1:2000 (equidistância das curvas de nível: 2 metros), em Sintra a escala varia entre 1:1000, 1:2000 e 1:5000 (equidistância das curvas de nível: 1, 2 ou 5 metros), dependendo da área em causa. Esta informação garantiu um grau de pormenor assinalável na delimitação da bacia e permitiu que o modelo digital de terreno (MDT) gerado em ambiente SIG fosse uma representação próxima da morfologia real da bacia. A equidistância entre curvas de nível é igual ou inferior a 2 metros na maior parte da bacia, daí que a dimensão escolhida para as células que compõem o MDT seja de 4 m² (2 m de lado).

O processo de delimitação automática de bacias hidrográficas no *ArcMap* apresenta, por vezes, algumas limitações nos sectores terminais das bacias, especialmente em áreas muito planas, como é o caso de Barcarena. Mesmo recorrendo a dados altimétricos com muito detalhe, o *software* não é, em muitos casos, capaz de determinar de forma correcta os interflúvios nessas áreas. Como tal, decidiu-se mover para montante a desembocadura da bacia de Barcarena, até ao local em que o programa consegue delimitar a bacia sem erros. Esse local corresponde ao viaduto da estrada de Gibalta, em Caxias, situado a cerca de 300 metros da confluência com o rio Tejo. Tal significa que a desembocadura utilizada não coincide exactamente com a foz do curso de água e que, por isso, uma pequena parte da bacia não foi considerada.

Quanto à hidrografia, optou-se pela utilização da rede de drenagem gerada a partir do MDT. Foi definido que a acumulação de 10 000 células (4 hectares) representa o valor mínimo de área para que uma linha de água se forme. Foi ainda recolhida informação digital sobre a geologia, litologia, solos e ocupação do solo para a bacia hidrográfica de Barcarena (tabela 7.1).

Tabela 7.1 Informação relativa aos dados recolhidos para a bacia hidrográfica de Barcarena.

Designação	Tipo de informação	Fonte	Escala	Folhas
n.a.	Curvas de nível e pontos cotados	Câmara Municipal de Oeiras (CMO)	1:2000	n.a.
		Câmara Municipal de Sintra (CMS)	1:1000, 1:2000, 1:5000	
Carta Geológica de Portugal	Geologia e litologia	Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG)	1:25 000	416 e 430
Carta dos Solos de Portugal	Solos	Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR)		
CORINE Land Cover – CLC (1990 e 2012)	Ocupação do solo	Direcção-Geral do Território (DGT)	1:100 000	n.a.
Carta de Uso e Ocupação do Solo – COS (2010)			1:25 000	

n.a. – não aplicável.

São vários os factores permanentes que condicionam a susceptibilidade às cheias rápidas numa bacia hidrográfica: geometria, rede de drenagem, relevo, substrato geológico e solos. De modo a que possam ser quantificados e comparados com outras bacias, foram obtidos diversos indicadores para a bacia hidrográfica de Barcarena. Os parâmetros e respectivas fórmulas relativos à geometria, rede de drenagem, relevo e substrato geológico, estão expressos na tabela 7.2, assim como os tempos de concentração e resposta da bacia. De todas as variáveis referidas na tabela 7.2 existem duas que não foram extraídas de forma automática em ambiente SIG, nem foram calculadas através de fórmulas, e para as quais existem diversos critérios de obtenção: o comprimento da bacia e a definição do seu curso de água principal. O comprimento da bacia foi obtido recorrendo à distância em linha recta a partir da desembocadura até ao interflúvio próximo da cabeceira do curso de água principal, adoptando o critério de Linsley *et al.* (1988). Considerou-se o curso de água principal aquele que apresenta maior magnitude, partindo de jusante (método de Shreve). Se ambos os canais possuírem a mesma magnitude, opta-se pelo de menor ângulo de confluência. Se, ainda assim, o ângulo de confluência for semelhante, opta-se pela linha de água mais longa.

Para se poder representar e compreender as alterações na inclinação do leito do curso de água principal foram definidos vários sectores. Cada sector apresenta inclinações semelhantes ao longo da sua extensão, o que significa que a velocidade do escoamento será idêntica, se não forem consideradas eventuais diferenças na rugosidade do canal fluvial. Quando estas condições se alteram, isto é, quando a inclinação do leito aumenta ou diminui de forma notória, inicia-se um novo sector. Importa ainda referir que estas alterações são, normalmente, acompanhadas por mudanças na forma do vale e na largura do seu fundo.

Tabela 7.2 Parâmetros e fórmulas referentes à geometria, rede de drenagem, relevo, substrato geológico e tempos de concentração e de resposta obtidos para a bacia hidrográfica de Barcarena.

Parâmetro	Fórmula	Notas
Factor forma (Horton)	$Ff = \frac{A}{Cb^2}$	A = área (km ²); Cb = comprimento da bacia (km) Varia entre 0,1 (bacia alongada) e 0,9 (bacia arredondada)
Índice de Gravelius	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	P = perímetro (km); A = área (km ²) No mínimo é igual a 1, sendo, nesse caso, uma bacia circular. Considera-se compacta quando o valor é <1,6.
Índice de circularidade (Miller)	$Ic = \frac{4\pi A}{P^2}$	A = área (km ²); P = perímetro (km) O valor máximo é igual 1, correspondendo a uma bacia perfeitamente circular.
Índice de alongamento (Schumm)	$Ia = \frac{2\sqrt{(A/\pi)}}{Cb}$	A = área (km ²); Cb = comprimento da bacia (km) Varia entre 0 (bacia alongada) e 1 (bacia arredondada)
Permeabilidade média	$P = \frac{\sum Pi. Ai}{A}$	Pi = valor de permeabilidade; Ai = área de cada valor de permeabilidade (km ²); A = área da bacia (km ²)
Altitude média	$Z = \frac{\sum Zi. Ai}{A}$	Z = altitude média (m); Zi = altitude de cada célula (m); Ai = área de cada célula (km ²); A = área da bacia (km ²)
Altura média	$H = \frac{\sum Hi. Ai}{A}$	H = altura média (m); Hi = altura de cada célula (m); Ai = área de cada célula (km ²); A = área da bacia (km ²)
Amplitude altimétrica	$D = AM - Am$	D = Amplitude altimétrica (m); AM = altitude máxima (m); Am = altitude mínima (m)
Coefficiente orográfico (Fourier)	$Co = \frac{H^2}{A}$	H = altura média (m); A = área (km ²) Um valor superior a 6 indica um relevo acentuado.
Índice de rugosidade (Melton)	$Ir = D. Dd$	D = amplitude altimétrica (m); Dd = densidade de drenagem (km/km ²) O valor é tanto maior quanto mais acidentada for uma bacia.
Relação de relevo (Schumm)	$Rr = \frac{D}{Cb}$	D = amplitude altimétrica (m); Cb = comprimento da bacia medido paralelamente ao curso de água principal (m) Quanto maior for o seu valor mais rápida é a chegada do escoamento à desembocadura da bacia.
Declive médio	$S = \frac{\sum Si. Ai}{A}$	S = declive médio (°); Si = declive de cada célula (°); Ai = área de cada célula (km ²); A = área da bacia (km ²)
Inclinação média do curso de água principal	$I = \frac{D}{C}$	I = inclinação média do curso de água principal (m/km); D = desnível entre a cabeceira e a desembocadura do curso de água principal (m); C = comprimento do curso de água principal (km)
Densidade de drenagem (Horton)	$Dd = \frac{Ct}{A}$	Dd = densidade de drenagem (km/km ²); Ct = comprimento total dos cursos de água (km); A = área (km ²) Em Portugal continental, < 3 km/km ² correspondem a densidades de drenagem muito baixas e ≥ 11 km/km ² a densidades de drenagem extremamente elevadas (valores válidos para a escala 1:25 000).
Densidade hídrica (Horton)	$Dh = \frac{N}{A}$	Dh = densidade hídrica (número de cursos de água/km ²); N = número de cursos de água; A = área (km ²)
Comprimento médio das vertentes	$Cv = \frac{\sum Di. Ai}{A}$	Cv = comprimento médio das vertentes (m); Di = distância de cada célula ao talvegue mais próximo (m); Ai = área de cada célula (km ²); A = área da bacia (km ²)
Coefficiente de manutenção (Schumm)	$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$	Cm = coeficiente de manutenção (m); Dd = densidade de drenagem (km/km ²) Quanto menor for o valor mais rapidamente a água proveniente da precipitação chega às linhas de água.
Coefficiente de torrencialidade (Vivas)	$Ct = Dh. Dd$	Dh = densidade hídrica (número de cursos de água/km ²); Dd = densidade de drenagem (km/km ²) Representa o grau de torrencialidade de uma bacia, sendo tanto maior quanto maior for o valor resultante.
Tempo de concentração (Temez)	$Tc = 0,3 \cdot \left(\frac{Ch}{I^{0,25}} \right)^{0,76}$	Tc = tempo de concentração (horas); Ch = comprimento do curso de água principal (km); I = inclinação média do curso de água principal (km/km)
Tempo de resposta	$Tr = 0,6 \cdot Tc$	Tr = tempo de resposta (horas); Tc = tempo de concentração (horas)

A permeabilidade de uma bacia é um elemento fundamental na geração de escoamento superficial, e esta está, em grande medida, dependente das características do substrato geológico e dos solos. No caso das formações geológicas, os valores de permeabilidade variaram entre 0 (permeabilidade nula) e 10 (máxima permeabilidade), tendo por base a classificação para as litologias existentes na AML (Ramos *et al.*, 2010) e já aplicada em Leal (2011). Estes valores foram agrupados em cinco classes de permeabilidade: muito reduzida (≤ 2), reduzida (3 a 4), média (5), elevada (6 a 7) e muito elevada (≥ 8). Aos planos de água foi atribuído o valor 0 (zero). A sua atribuição deve sempre considerar a informação presente nas notícias explicativas dos mapas geológicos utilizados. Há que ressaltar que a identificação da permeabilidade da zona vadosa comporta diversas dificuldades, como algum desconhecimento relativo às propriedades das litofácies (e da sua variação espacial) ou ao grau de fracturação das rochas (Reis, 2006). Como refere Ramos (2009), a permeabilidade das formações depende da sua textura, estrutura, grau de compactação e descontinuidades. Algo que também pode suscitar dúvidas neste âmbito é o grau de permeabilidade das aluviões. Trata-se de formações não consolidadas, em que a textura é distinta ao longo da bacia hidrográfica, podendo ser modificada em resultado de eventos de cheia. Assim, o grau e o valor de permeabilidade varia de montante para jusante, seguindo-se, por isso, o princípio da perda de capacidade de transporte dos cursos de água à medida que se aproximam da desembocadura. Foi atribuído o valor 9 às aluviões de montante (sedimentos grosseiros), o valor 6 às intermédias e o valor 3 às de jusante (sedimentos finos). A partir do valor de permeabilidade atribuído às várias formações geológicas foi calculado o valor de permeabilidade média da bacia de Barcarena (tabela 7.2).

Ainda no que respeita à permeabilidade dos terrenos, foram obtidos os valores do *curve number* (CN) para a bacia de Barcarena utilizando os procedimentos descritos no capítulo 1. Quanto à ocupação do solo, foi utilizada a COS 2010 para uma caracterização mais detalhada da ocupação do solo e a CLC 1990 e 2012 para se compreender a sua evolução.

7.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FACTORES PERMANENTES DAS CHEIAS RÁPIDAS

7.2.1. Enquadramento e características hidrológicas

A bacia da ribeira de Barcarena é uma pequena bacia hidrográfica alongada de 34,2 km², que tem uma orientação aproximada NNW-SSE e cuja desembocadura se situa no troço terminal do Rio Tejo. É a 10ª maior bacia da AML Norte e a 20ª da AML.

A bacia de Barcarena está integrada num conjunto de bacias com dimensão e características físicas semelhantes, de traçado sensivelmente norte-sul, no qual estão incluídas Algés, Jamor, Laje, Caparide, entre outras. Está enquadrada a norte pela bacia do rio Lizandro, a nordeste pela bacia do rio Trancão, a este pela bacia do rio Jamor e a oeste pelas bacias das ribeiras da Laje e de Porto Salvo.

Por outro lado, esta bacia localiza-se numa área encaixada entre alguns dos elementos que marcam a paisagem da AML Norte: o estuário do Tejo, a sul; a plataforma litoral de Cascais, a sudoeste; o maciço sub-vulcânico de Sintra, a oeste; as costeiras de Odivelas-Vialonga e de Lousa-Bucelas, a nordeste/este; e o doma de Monsanto, a sudeste (figura 7.2). Trata-se de uma área caracterizada por um relevo aplanado e entalhado pela rede hidrográfica. Os actuais interflúvios aplanados resultaram, por certo, de processos erosivos, apesar de se desconhecer qual a sua génese, ao contrário do que acontece com as plataformas litorais da região (Ramos-Pereira, 1998).

Figura 7.2 Bacia hidrográfica de Barcarena e os principais elementos da paisagem na AML Norte.

escoamento torrencial, em que os caudais atingidos superam grandemente o caudal médio. Algumas das características da sua bacia hidrográfica tornam-na propensa a ser afectada por cheias rápidas. O seu hidrograma de cheia é característico de uma pequena bacia urbanizada, em que a curva de crescimento (entre o início da precipitação e a ponta de cheia) sobe forma súbita e a curva de decrescimento (entre a ponta de cheia e o fim do escoamento directo) também diminui rapidamente. O tempo de concentração da bacia de Barcarena foi estimado em 6h20 e o tempo de resposta em 3h48. A quase inexistência de dados hidrométricos não permitiu caracterizar o escoamento fluvial de forma mais detalhada e quantitativa.

7.2.2. Geologia, litologia e geomorfologia

A bacia de Barcarena está integrada na Orla Mesoceno-zóica Ocidental, onde afloram formações geológicas datadas do Mesozóico e Cenozóico, do Jurássico Superior ao Holocénico (tabela 7.3). A sua grande maioria data do período Cretácico (mais de 90% da área da bacia), ou seja, têm idades compreendidas entre 145 e 65 milhões de anos. Estas formações são, essencialmente, constituídas por rochas carbonatadas (calcários e margas). As rochas mais antigas que afloram na bacia de Barcarena fazem parte da formação de Farta Pão e estão datadas do Titoniano (Jurássico Superior) ao Berriasiano (Cretácico Inferior), com idades compreendidas entre 150 e 140 milhões de anos (tabela 7.3 e figura 7.3a). Esta formação é composta por calcários nodulares, intercalados com níveis de margas, formados em ambiente lagunar restrito com influências salobras (Kullberg, 2000; Ramalho *et al.*, 2001; Kullberg *et al.*, 2006). Note-se que esta já era a transição entre o Jurássico e o Cretácico e, por isso, o ambiente de deposição não era mais de grande profundidade como o era no início do Jurássico Superior.

Durante o Berriasiano Superior e o Valangiano Inferior as condições ambientais não se modificaram de forma significativa, existindo uma plataforma marinha infralitoral, de baixa profundidade, favorecendo o desenvolvimento de calcários e margas (Ramalho *et al.*, 1993, 2001; Kullberg *et al.*, 2006). A formação de Serradão data deste período (tabela 7.3 e figura 7.3a). A presença de arenitos, identificados no mapa geológico, deve-se à existência de um ambiente de estuário presente a este de Sintra, no qual se verificava a deposição de grés siliciosos (Ramalho *et al.*, 1993). Tratou-se também de um período eustático regressivo, contrariando a tendência de subida do nível do mar (Kullberg *et al.*, 2006).

Este intervalo regressivo iria vigorar até ao Valangiano Superior, quando se verificou uma rápida subida do nível médio do mar, tornando o ambiente de deposição mais profundo e aberto (Ramalho *et al.*, 1993, 2001; Kullberg *et al.*, 2006). Esta série correspondeu ao máximo da transgressão marinha do Cretácico Inferior na bacia Lusitaniana (Ramalho *et al.*, 1993), que iria

perdurar até ao início do Hauteriviano. Neste ambiente foram formados os calcários e margas que compõem as formações de Guia e de Maceira (tabela 7.3 e figura 7.3a).

O conjunto carbonatado do qual fazem parte as formações de Cabo Raso e de Guincho (tabela 7.3 e figura 7.3a) correspondem a uma evolução marinha regressiva ao longo do Hauteriviano e do Barremiano Inferior (Ramalho *et al.*, 2001). A diminuição da profundidade deveu-se, essencialmente, à colmatção gradual da bacia Lusitaniana de Este para Oeste através de construções recifais (formação de Cabo Raso) (Ramalho *et al.*, 1993; Kullberg *et al.*, 2006). À medida que se caminha para ocidente, em vez de calcários recifais surgem calcários de plataforma interna com rudistas, correspondentes à formação de Guincho (Kullberg *et al.*, 2006).

No Barremiano Superior verificou-se uma sedimentação predominante de arenitos, pelitos, dolomitos e argilas de planícies costeiras entremarés a supramarés e de ambientes estuarinos (Ramalho *et al.*, 1993; Kullberg *et al.*, 2006). Esta sequência está expressa na formação de Regatão (tabela 7.3 e figura 7.3a).

Tabela 7.3 Formações geológicas na bacia de Barcarena e respectiva permeabilidade.

Formações geológicas	Era	Período	Época	Idade	Área (%)	Grau de permeabilidade
Planos de água	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,02	0
Aluviões	Cenozóico	Quaternário	Holocénico	n.a.	4,6	3, 6 ou 9*
Formação das Argilas dos Prazeres: argilitos e calcários	Cenozóico	Neogénico	Miocénico	Aquitânico a Burdigaliano	1,9	3
Complexo Vulcânico de Lisboa	Mesozóico	Cretácico	Superior	Campaniano	30,1	2
Formação de Bica: calcários com rudistas	Mesozóico	Cretácico	Superior	Cenomaniano	5,3	6
Formação de Caneças: calcários e margas	Mesozóico	Cretácico	Superior	Cenomaniano	14,8	3
Formação de Rodízio: pelitos, arenitos e conglomerados	Mesozóico	Cretácico	Inferior	Aptiano a Albiano	7,3	5
Formação de Cresmina: calcários e margas	Mesozóico	Cretácico	Inferior	Aptiano	3,7	4
Formação de Regatão: arenitos, pelitos e dolomitos	Mesozóico	Cretácico	Inferior	Barremiano	4,8	5
Formações de Cabo Raso e de Guincho: calcários recifais e calcários com Chofatellas	Mesozóico	Cretácico	Inferior	Hauteriviano a Barremiano	8,4	6
Formação de Maceira: margas e calcários	Mesozóico	Cretácico	Inferior	Valangiano a Hauteriviano	0,8	3
Formações de Serradão e de Guia: calcários, margas e arenitos	Mesozóico	Cretácico	Inferior	Berriasiano a Valangiano	15,2	4
Formação de Farta Pão: calcários e margas	Mesozóico	Jurássico a Cretácico	Jurássico Superior a Cretácico Inferior	Titoniano a Berriasiano	1,6	6
Filões e massas de rochas vulcânicas	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,3	2
Rochas vulcânicas indiferenciadas	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,2	2

n.a. – não aplicável.

* 9 – aluviões de montante (sedimentos grosseiros); 6 – aluviões intermédias; e 3 – aluviões de jusante (sedimentos finos).

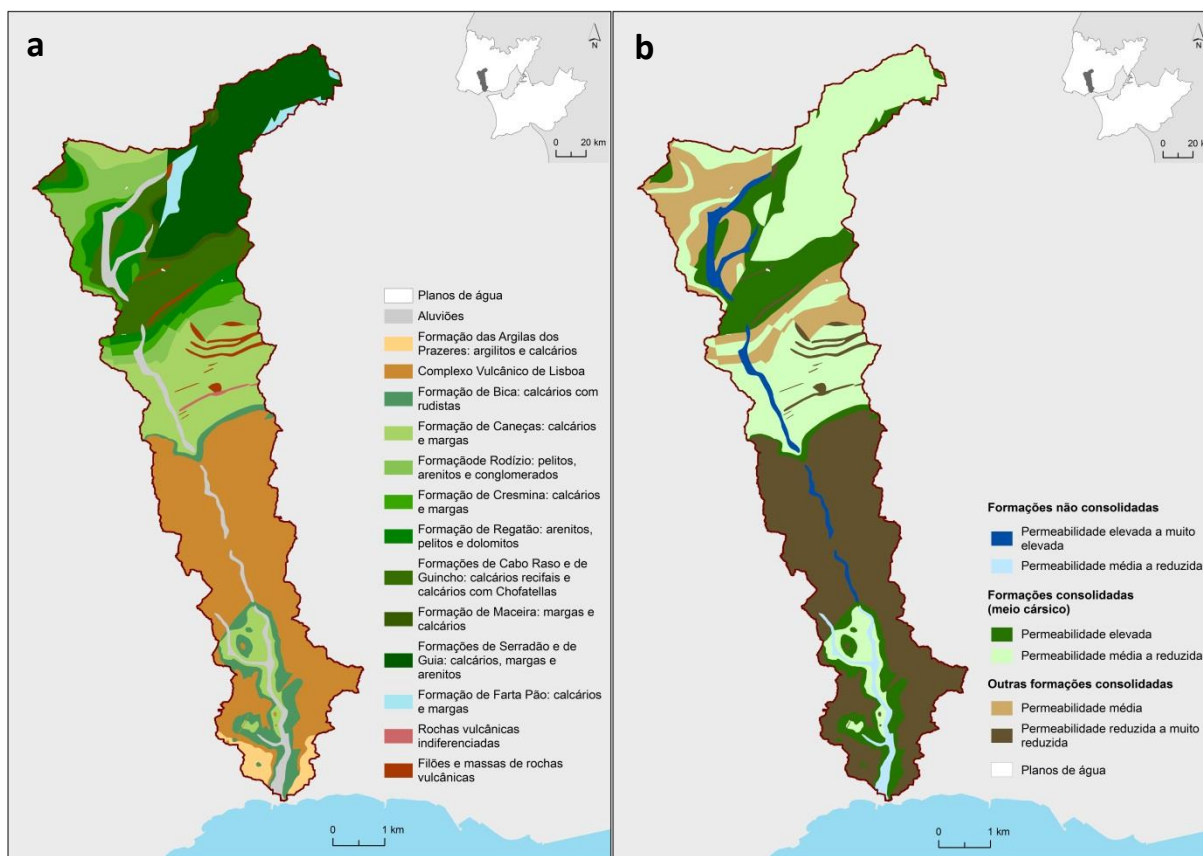


Figura 7.3 Formações geológicas aflorantes na bacia de Barcarena **(a)** e respectiva permeabilidade **(b)**.

Durante o Aptiano Inferior a linha de costa voltou a deslocar-se para Este, denotando uma evolução transgressiva e originando uma sequência carbonatada associada a um ambiente de plataforma com barreira (Ramalho *et al.*, 1993, 2001; Kullberg *et al.*, 2006). Esta sequência compõe a formação de Cresmina (tabela 7.3 e figura 7.3a), constituída por calcários e margas. Este ambiente alterou-se de forma repentina na fronteira entre o Aptiano e o Albiano, instalando-se um regime de descargas e de acumulação de conglomerados, arenitos e pelitos (Kullberg *et al.*, 2006) que constituem a formação de Rodízio (tabela 7.3 e figura 7.3a).

No Albiano retomou-se o ambiente transgressivo que viria a subsistir até ao final do Cenomaniano, apenas com uma interrupção durante o Cenomaniano Inferior (Kullberg *et al.*, 2006). Ramalho *et al.* (1993) consideram mesmo que o Cenomaniano constituiu uma megassequência transgressiva e Ribeiro *et al.* (1979) referem que o pico máximo da transgressão cretácica ocorreu no Cenomaniano Superior. O carácter marinho deste período está patente nos calcários e margas da formação de Caneças e nos calcários com rudistas da formação de Bica (tabela 7.3 e figura 7.3a).

A posição do nível médio do mar e a tectónica predominantemente distensiva durante o Cretácico justificam a predominância de formações carbonatadas na bacia de Barcarena. Contudo, o progressivo preenchimento e sedimentação, aliado aos períodos regressivos, explicam a existência de intercalações ou mesmo formações de carácter detrítico: Serradão, Regatão e Rodízio.

Devido ao regime tectónico compressivo, o final do Cretácico ficou igualmente marcado pela intensa actividade sísmica, responsável pelo levantamento, emersão e fracturação das formações sedimentares (Ramos-Pereira, 1998; Moniz, 2010). Ao longo dessas fracturas ocorreram, de forma intercalada, vários episódios piroclásticos e derrames lávicos (Ramos-Pereira, 1998; Vasconcelos, 2011) que se depositaram sobre as formações já existentes. Estes materiais constituem o Complexo Vulcânico de Lisboa, que ocupa cerca de 30% da bacia de Barcarena e está representado a sul da área urbana de Aqualva-Cacém (tabela 7.3 e figuras 7.1 e 7.3a).

O período Paleogénico não está representado na área ocupada pela bacia de Barcarena e, como tal, é a formação das Argilas dos Prazeres que está depositada sobre o Complexo Vulcânico e que aflora no sector terminal desta bacia (tabela 7.3 e figura 7.3a). Trata-se de uma formação geológica datada do Miocénico, entre o Aquitaniano e o Burdigaliano. A formação das Argilas dos Prazeres é composta por diversas unidades litológicas, em que predominam as argilas e margas formadas em ambientes de lagunas costeiras (Vasconcelos, 2011; Pais *et al.*, 2012).

Em termos gerais, as formações mais antigas da bacia hidrográfica de Barcarena afloram no seu sector montante e as mais recentes encontram-se mais próximas da desembocadura. Tal explica-se pela concordância entre o relevo e a estrutura monoclinal, em que as camadas possuem uma inclinação para sul/sudeste (Zêzere, 1991; Ramalho *et al.*, 1993). O afloramento das formações de Caneças e de Bica nos vales do sector jusante da bacia é a única excepção. Refira-se que a ribeira de Barcarena, assim como outros cursos de água, aproveitou uma área de fraqueza estrutural, resultante da intrusão do maciço de Sintra, para aí se instalar há cerca de 2 milhões de anos (Ramos-Pereira, 1998). A sua competência permitiu dismantelar as unidades sobrejacentes (Complexo Vulcânico de Lisboa e formação das Argilas dos Prazeres), expondo as formações cretácicas (figura 7.3a). As formações geológicas mais recentes da bacia de Barcarena são as aluviões (Holocénico). Estas depositaram-se ao longo do curso de água principal e de alguns dos afluentes mais relevantes (figura 7.3a), representando cerca de 5% da área total da bacia (tabela 7.3).

Em mais de metade da bacia de Barcarena (70%) afloram materiais com permeabilidades reduzidas ou muito reduzidas (≤ 4) (tabela 7.3 e figura 7.3b). Estes correspondem ao Complexo Vulcânico de Lisboa e a outras rochas vulcânicas (2), às aluviões de jusante e às formações das Argilas dos Prazeres e de Caneças (3), e às formações de Cresmina, de Serradão e de Guia (4) (tabela 7.3 e figura 7.3b). As formações de permeabilidade média (5) (Regatão e Rodízio) constituem 12% da bacia, enquanto as formações de permeabilidade elevada (6) (aluviões intermédias e formações de Bica, Cabo Raso, Guincho e Farta Pão) afloram em 16% da bacia (tabela 7.3 e figura 7.3b). As únicas formações que possuem uma permeabilidade muito elevada (9) são as aluviões de montante, presentes em apenas 2% da bacia de Barcarena (tabela 7.3 e figura 7.3b).

7.2.3. Solos

Os solos existentes na AML e, em concreto na bacia de Barcarena, são pouco espessos e resultam dos processos de meteorização da rocha-mãe. Isto significa que os solos desta região dependem, em grande parte, das características hidrológicas do substrato geológico subjacente. Atendendo à diversidade litológica existente, são diversos os tipos de solos presentes na bacia de Barcarena: aluviosolos, barros castanho-avermelhados, argiluvitados, calcários, hidromórficos, incipientes, litólicos e mólicos-castanozemes (figura 7.4a). Há ainda os locais em que os solos não existem (afloramentos rochosos) ou já não visíveis, correspondentes às áreas edificadas ou, como são designadas na Carta dos Solos de Portugal, áreas sociais (figura 7.4a). Na bacia de Barcarena, os solos litólicos são os mais comuns (30% do total da bacia), aos quais se seguem as áreas sociais (26%) e os barros castanho-avermelhados (19%).

Para cada um dos tipos de solo, existem vários subtipos com diferentes características e texturas. De modo a avaliar a sua permeabilidade, os solos foram classificados de acordo com os quatro tipos hidrológicos de solo do SCS (*Soil Conservation Service*): A, B, C e D)¹².

Na bacia de Barcarena dominam os solos de tipo D, os que devido à sua textura fina favorecem a geração de escoamento superficial e dificultam a infiltração. Estes representam cerca de 2/3 da área total da bacia e são, praticamente, os únicos presentes a sul de Agualva-Cacém (figura 7.4b). No essencial, a sua existência deve-se às áreas edificadas/sociais, assim como aos barros castanho-avermelhados e aos solos litólicos resultantes da meteorização do Complexo Vulcânico de Lisboa (figuras 7.3a e 7.4a).

Os solos de tipo A, cuja textura grosseira promovem a infiltração, são os segundos mais representativos na bacia de Barcarena. Estes contabilizam 24% da área total e são mais frequentes no sector montante da bacia (figura 7.4b). Na sua maioria os solos de tipo A são também solos litólicos, mas estes resultaram da desagregação de arenitos, ao contrário dos de tipo D, que se formaram pela meteorização de rochas eruptivas. Os solos de tipo B e C representam 9% e 1%, respectivamente, do total da bacia de Barcarena.

¹² Os subtipos de solos existentes na bacia hidrográfica de Barcarena e o respectivo tipo hidrológico de solo podem ser consultados no anexo 1.

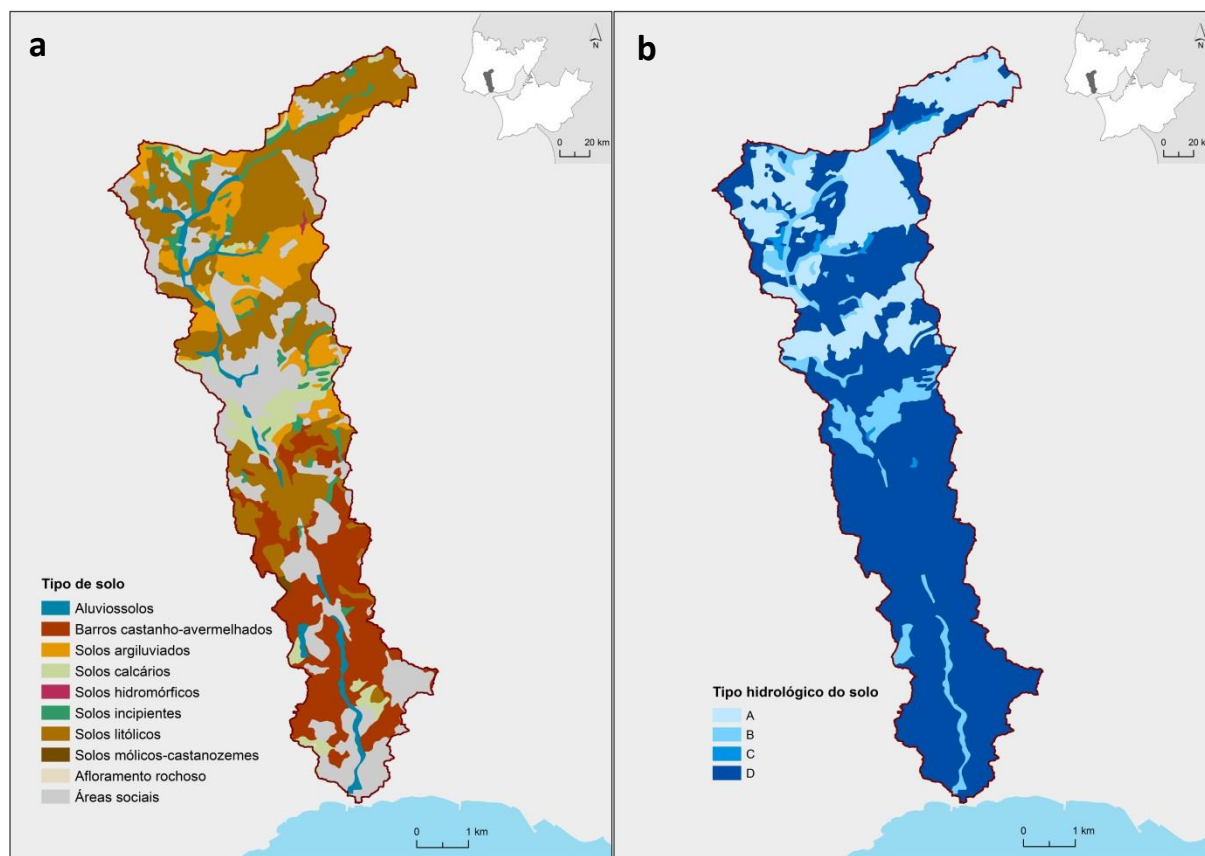


Figura 7.4 Tipos de solos **(a)** e tipos hidrológicos de solo **(b)** na bacia de Barcarena.

7.2.4. Relevo e rede de drenagem

A bacia hidrográfica de Barcarena está incluída numa área aplanada da AML Norte, apresentando uma estrutura monoclinal em que as camadas possuem uma inclinação para sul/sudeste. A altitude da bacia varia entre 330 metros na localidade de Almornos, freguesia de Almargem do Bispo, Pêro Pinheiro e Montelavar, e 0 metros no estuário do rio Tejo. Como foi explicado no ponto 7.1, a desembocadura da bacia gerada em ambiente SIG não coincide com a confluência deste curso de água com o estuário do Tejo, estando localizada cerca de 300 metros a montante. Deste modo, a altitude mínima da bacia aqui considerada é de 2 metros.

Mais de 1/3 da área da bacia de Barcarena (35%) situa-se entre 150 e 200 metros de altitude e cerca de 3/4 possuem altitudes que variam entre 100 e 250 metros (tabela 7.4 e figura 7.5a). Porém, o factor relevo é aqui menos importante no contexto das cheias rápidas quando comparado com bacias como Vinhas ou Caparide, cujo ponto mais elevado se situa na serra de Sintra, a 528 metros de altitude. Assim, a amplitude altimétrica de Barcarena é 200 metros menor (328 metros) do que a das duas bacias referidas. Os declives na bacia de Barcarena estão representados na tabela 7.5 e na figura 7.5b.

Tabela 7.4 Distribuição altitudinal na bacia de Barcarena.

Classe altitude (m)	Área (km ²)	Área (%)	Área acumulada (km ²)
> 300	0,3	1	0,3
250 – 300	2,1	6	2,4
200 – 250	6,0	18	8,4
150 – 200	12,1	35	20,5
100 – 150	7,2	21	27,7
50 – 100	4,3	13	32,0
≤ 50	2,2	6	34,2
Total	34,2	100	-

Tabela 7.5 Declives na bacia de Barcarena.

Classe declive (°)	Área (km ²)	Área (%)
≤ 5°	17,7	52
5° - 15°	12,8	37
15° - 25°	2,8	8
> 25°	0,9	3
Total	34,2	100

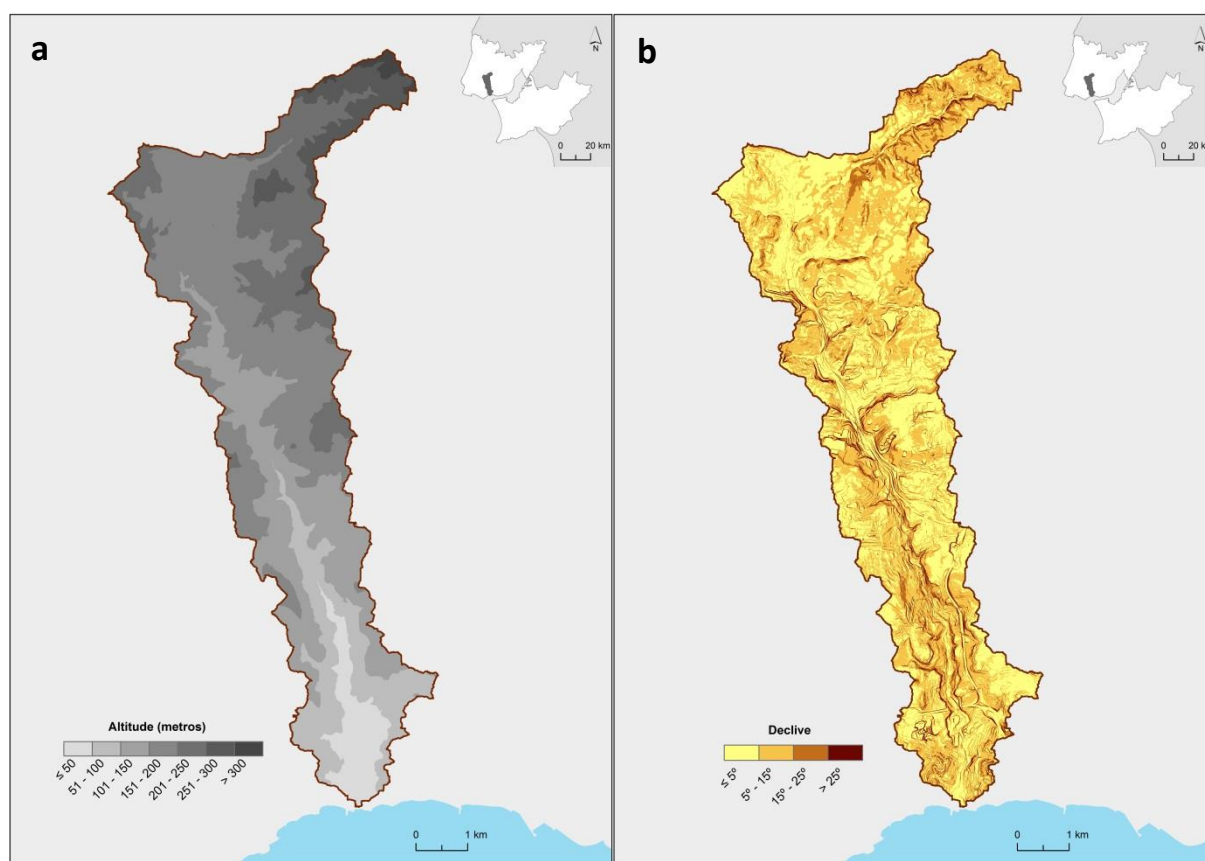


Figura 7.5 Altitude (a) e declives (b) na bacia de Barcarena.

Barcarena é uma bacia hidrográfica de hierarquia 4 e que possui 232 linhas de água de primeira ordem, algo revelador da sua reduzida dimensão (figura 7.6a). No contexto de Portugal continental, e de acordo com a classificação apresentada em Ramos (2009), a sua rede de drenagem pode ser considerada como pouco densa (3,3 km/km²), contudo, a sua realidade é semelhante à da

generalidade das bacias da AML Norte (Leal, 2011). Tratando-se de uma bacia pequena e alongada, compreende-se que as linhas de água de ordem inferior sejam curtas, o que explica que o número de cursos de água ($6,8$ cursos de água/ km^2) seja mais importante do que o seu comprimento. Os valores apresentados foram obtidos a partir da rede de drenagem gerada pelo MDT da bacia, o que faz com que sejam diferentes dos que seriam obtidos através folhas das Cartas Militares de Portugal 1:25 000. Os seus afluentes e sub-bacias mais importantes estão localizados na margem esquerda da ribeira de Barcarena (figura 7.6a).

A ribeira de Barcarena tem a sua cabeceira a 283 metros de altitude, na Serra da Carregueira, e estende-se ao longo de 19,4 km de comprimento, sendo a mais extensa das linhas de água que desaguam nos municípios de Oeiras e Cascais. A sua inclinação média é de 1,5% e possui três orientações principais: 1) ENE-WSW durante os primeiros 5,5 km; 2) N-S ao longo de 1,3 km; e 3) NNW-SSE ao longo do restante percurso (figuras 7.6b e 7.7).

Desde que aí se começou a instalar (há cerca de 2 milhões de anos) até à actualidade, a ribeira de Barcarena tem vindo a aprofundar o seu leito, erodindo as rochas ao longo do seu percurso. Um vale que atinge mais de 50 metros de profundidade em alguns sectores atesta a elevada capacidade erosiva deste curso de água ao longo do tempo, sendo capaz de cortar bancadas de calcário de elevada dureza e resistência (Ramos-Pereira, 1998). Ao longo do percurso percorrido pela ribeira de Barcarena, o vale possui características diferentes. Como é normal, este é muito mais encaixado no sector montante do que no sector terminal da ribeira de Barcarena, embora a sua progressão não seja linear. É, pois, possível identificar diversos sectores ao longo do seu percurso, mesmo através do mapa de declives da bacia (figura 7.5b). Por outro lado, a forma do vale está também directamente relacionada com a inclinação do curso de água. Nos sectores em que a inclinação é maior, o curso de água tende a aprofundar o seu leito e, por isso, os fundos de vale são estreitos e a deposição de sedimentos é diminuta. Por outro lado, nos sectores em que a inclinação é menor, a capacidade erosiva do curso de água é mais reduzida, propiciando-se um ambiente de deposição e a existência de fundos de vale mais largos.

Ao longo dos 19,4 km da ribeira de Barcarena, foram identificados 9 sectores distintos. Pode dizer-se que se trata de um vale encaixado nos primeiros 5 km da ribeira, correspondentes aos sectores 1, 2 e 3, em que os declives do leito do curso de água são de 5,5%, 2,8% e 1,6%, respectivamente (figuras 7.6 e 7.7 e tabela 7.6). A partir da povoação do Telhal (sector 4), o fundo de vale torna-se mais largo, as vertentes pouco declivosas e a inclinação da ribeira de Barcarena baixa para 0,9% (figuras 7.6 e 7.7 e tabela 7.6). Como consequência o ambiente erosivo e de transporte é substituído por um ambiente de deposição, marcado por uma perda de energia do curso de água, tal como provam as aluviões representadas no mapa geológico (figura 7.3a).

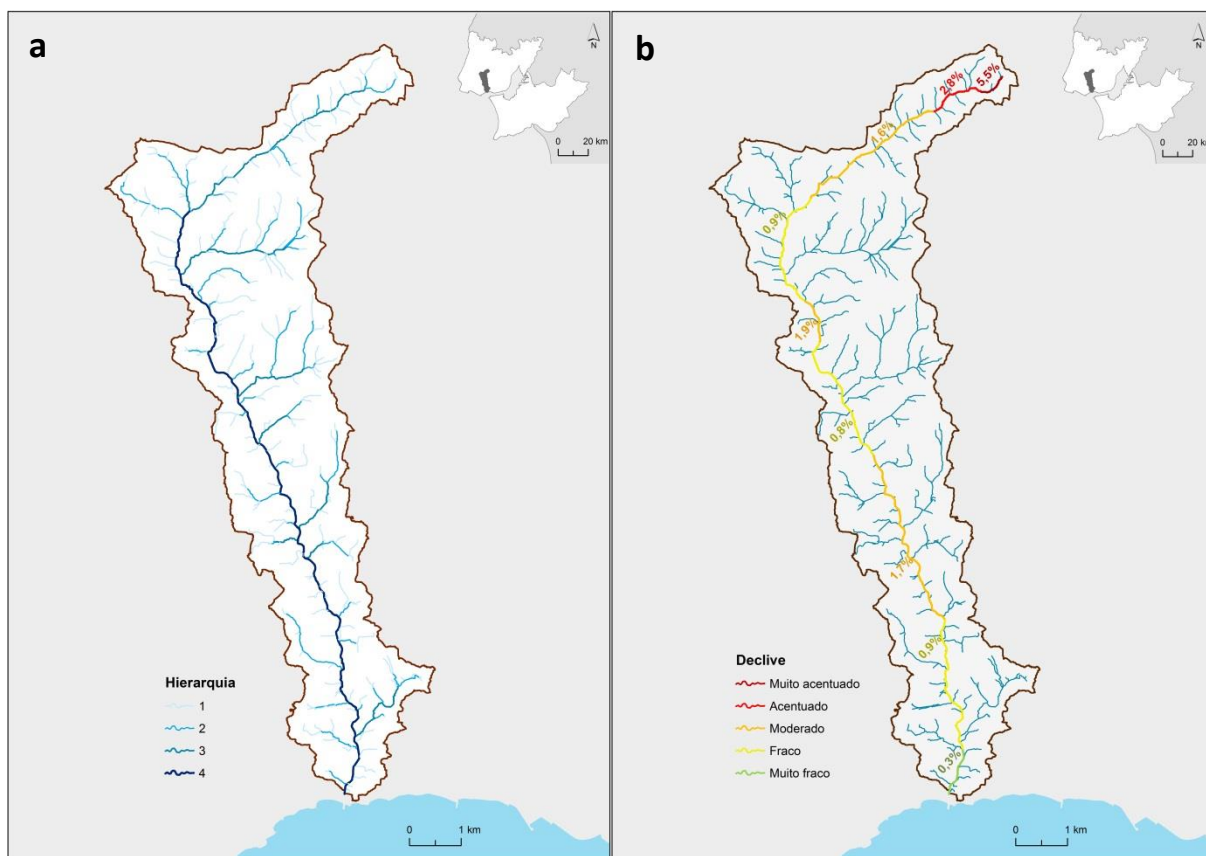


Figura 7.6 Hierarquia (a) e inclinação do curso de água principal (b) da bacia de Barcarena.

Tabela 7.6 Sectores do curso de água principal da bacia de Barcarena.

Sectores	Extensão (km)	Declive (%)	Sectores	Extensão (km)	Declive (%)	Sectores	Extensão (km)	Declive (%)
1	0,6	5,5	4	2,6	0,9	7	4,0	1,7
2	1,2	2,8	5	1,0	1,9	8	3,0	0,9
3	3,2	1,6	6	2,8	0,8	9	1,0	0,3

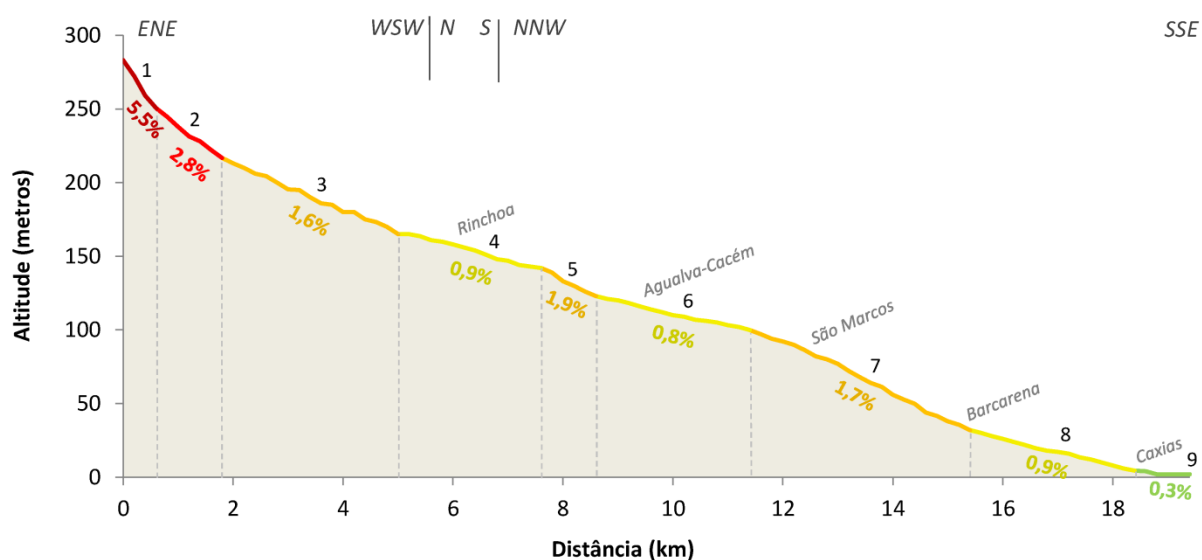


Figura 7.7 Perfil longitudinal da ribeira de Barcarena.

A jusante de Rinchoa e ao longo de cerca de 1 km de extensão (sector 5), o vale assume características semelhantes às do sector 3 (figuras 7.6 e 7.7 e tabela 7.6). As vertentes tornam-se mais abruptas, o fundo de vale é mais estreito, o declive do curso de água aumenta (1,9%) e as aluviões deixam de estar representadas (figura 7.3a). A partir de Agualva-Cacém (sector 6) e durante 2,8km, o fundo de vale torna-se de novo mais amplo, embora as vertentes sejam declivosas, especialmente a da margem direita do curso de água. A inclinação do leito da ribeira de Barcarena (0,8%) diminui em comparação com o sector antecedente (figuras 7.6 e 7.7 e tabela 7.6), propiciando a deposição de aluviões (figura 7.3a). É importante referir ainda que o sector 6 marca o início das intervenções estruturais existentes na ribeira de Barcarena.

O sector 7 é o mais longo dos 9 identificados e estende-se por 4 km (figuras 7.6 e 7.7 e tabela 7.6). Inicia-se um pouco a montante de São Marcos e distingue-se do sector 6 por um novo aprofundamento do leito da ribeira de Barcarena e pelo incremento da sua inclinação (1,7%). Estes factos sugerem um ambiente mais energético, comprovado por nova descontinuidade na representação das aluviões, antes da entrada no Complexo Vulcânico de Lisboa (figura 7.3a). Ribeiro (1857, p. 57) refere que a partir deste ponto o vale forma uma “estreita garganta, pelo qual a ribeira passa para a região dos basaltos”. A partir da passagem pela localidade de Barcarena, o fundo de vale sofre novo alargamento que, aliás, se torna mais notório à medida que a desembocadura se aproxima, configurando os sectores 8 e 9. O sector 8 apresenta características semelhantes às dos sectores 4 e 6 no que concerne à inclinação do curso de água (0,9%) e estende-se por 3 km até à localidade de Laveiras (figuras 7.6 e 7.7 e tabela 7.6). O sector 9 possui 1 km de extensão e uma inclinação de 0,3%, sendo, por isso, aquele em que o escoamento atinge menor velocidade. Este último sector é o único afectado pelo efeito da propagação da preia-mar, podendo este ser um factor relevante em situações de cheias rápidas.

Por tudo o que foi explicado, pode afirmar-se que a rede hidrográfica foi o principal agente modelador do terreno, numa área em que o relevo é pouco vigoroso. Assim, a sua importância acaba por ser maior em comparação com outros contextos da AML, em que as principais características geomorfológicas são impostas por outros factores como a tectónica (cadeia da Arrábida), a actividade vulcânica (serra de Sintra) ou a acção do mar (plataformas litorais).

7.2.5. Factores permanentes das cheias rápidas

As características físicas de uma bacia hidrográfica condicionam a forma como esta responde a um episódio de precipitação. O conjunto de factores analisados no decurso deste capítulo representa os factores permanentes das cheias rápidas: geometria, substrato geológico, solos, relevo e rede de drenagem. Os resultados dos indicadores calculados são apresentados na tabela 7.7.

Tabela 7.7 Resultados dos indicadores referentes às características físicas da bacia hidrográfica de Barcarena.

Indicador	Valor
Área (km ²)	34,2
Perímetro (km)	50,1
Comprimento da bacia (km)	14,0
Factor forma	0,2
Índice de Gravelius	2,4
Índice de circularidade	0,2
Índice de alongamento	0,5
Permeabilidade média	3,7
Altitude mínima (m)	2
Altitude máxima (m)	330
Altitude média (m)	159
Altura média (m)	157
Amplitude altimétrica (m)	328
Coefficiente orográfico	719
Índice de rugosidade	1082
Relação de relevo	0,02
Declive médio (°)	7,3
Hierarquia (Strahler)	4
Magnitude (Shreve)	232
Densidade de drenagem (km/km ²)	3,3
Densidade hídrica (nº cursos de água/km ²)	6,8
Comprimento médio das vertentes (m)	104,7
Coefficiente de manutenção (m)	303
Coefficiente de torrencialidade	22,4
Comprimento do curso de água principal (km)	19,4
Cota do curso de água principal (m)	283
Inclinação do curso de água principal (%)	1,5
Tempo de concentração (h)	6h20m
Tempo de resposta (h)	3h48m

Começando pela geometria, o facto de ter uma dimensão reduzida (34,2 km²) torna Barcarena uma bacia perigosa quando ocorrem eventos de precipitação intensa, pois os caudais aumentam de forma acentuada em muito pouco tempo. Tal está expresso nos seus curtos tempos de concentração e resposta: 6h20 e 3h48, respectivamente. Todavia, a sua forma alongada tem um efeito contrário, dado que o escoamento proveniente de várias partes da bacia tende a chegar de forma espaçada no tempo ao seu sector terminal, ao contrário do que sucede em bacias arredondadas (Kochel, 1988; NOAA, 2010). A atestar a forma alongada da bacia de Barcarena estão

os resultados obtidos para o factor forma, índice de Gravelius, índice de circularidade e índice de alongamento (tabela 7.7).

Para o estudo das cheias rápidas importa conhecer o grau de permeabilidade de uma bacia hidrográfica e qual a sua importância na amplificação ou mitigação das cheias. O escoamento/caudal numa bacia hidrográfica pode ter uma relação mais ou menos próxima com a pluviosidade consoante o grau de permeabilidade da sua zona vadosa (Leal, 2011). A constituição geológica influencia de forma decisiva a distribuição e o movimento da água numa bacia, condicionando, por isso, o tipo de escoamento (superficial, sub-superficial ou subterrâneo) (Lencastre e Franco, 1984; Leal, 2011) e a forma do hidrograma de cheia (Pilgrim e Cordery, 1993). Numa bacia pouco permeável a infiltração é reduzida, logo predomina o escoamento superficial (Ramos e Reis, 2002; Trigo *et al.*, 2016). Tal contribui para o aumento da frequência e magnitude das cheias rápidas, uma vez que uma bacia com estas características é capaz de gerar uma rede de drenagem densa e caudais de ponta elevados (Ramos, 2009; Trigo *et al.*, 2016). Consequentemente, os caudais sólidos atingidos são também superiores, aumentando a capacidade erosiva das cheias (Ramos, 2009). No entanto, tal depende da protecção do solo imposta pela adequação/desadequação do tipo de ocupação, do material disponível para ser mobilizado e das intervenções estruturais realizadas nos leitos dos cursos de água. Substratos geológicos pouco permeáveis são, portanto, sinónimo de menores tempos de concentração/resposta, já que a água proveniente da precipitação demora menos tempo a chegar aos fundos de vale. A importância do substrato geológico é tanto maior, quanto menos espessos forem os solos e menor for o grau de impermeabilização antrópica.

A bacia de Barcarena apresenta uma permeabilidade global baixa (3,7), algo explicado pela extensão do Complexo Vulcânico de Lisboa (30% da área da bacia) e pela existência de formações sedimentares de carácter margoso e argiloso (tabela 7.3 e figura 7.3). Deste modo, as características da maioria das formações geológicas que compõem a bacia de Barcarena dificultam a infiltração da água da chuva e favorecem o desenvolvimento do escoamento superficial e de cheias rápidas.

Sendo reduzida a permeabilidade imposta pelo substrato geológico, o grau de permeabilidade dos solos é também baixo, porque estes são gerados a partir da desagregação das formações geológicas. Se a este facto se juntar a presença de áreas edificadas (das quais se falará em pormenor mais adiante), percebe-se que os solos promovem o escoamento superficial. A predominância de solos de tipo D é o reflexo desta realidade. As condições antecedentes de humidade e o grau de saturação dos solos quando ocorrem precipitações intensas são aspectos fundamentais para as cheias rápidas. A porção de água que se infiltra pode ser menor ou até nula quando os solos estão saturados, aumentando ainda mais o escoamento superficial.

O relevo da bacia de Barcarena não é propriamente vigoroso, mesmo quando comparado com outras bacias da AML Norte. Os valores da amplitude altimétrica, coeficiente orográfico, índice

de rugosidade e relação de relevo demonstram esta realidade (tabela 7.7). No entanto, os cursos de água da bacia de Barcarena, em especial o seu curso de água principal, foram capazes de entalhar vales com profundidades significativas e declive acentuados (figura 7.5). As variações longitudinais na inclinação do curso de água principal são igualmente relevantes, determinando que alguns sectores sejam mais perigosos no que diz respeito às cheias rápidas (figuras 7.6b e 7.7). A importância dos declives explica-se por uma sequência de condições em cadeia, em que, quanto maior for a inclinação menor será a infiltração, menor será o tempo que a água demora a concentrar-se nos leitos fluviais, maior será a quantidade e a velocidade do escoamento superficial, maiores serão os caudais de ponta atingidos e maior será a capacidade erosiva e de transporte de carga sólida das linhas de água (Leopold, 1968; Lencastre e Franco, 1984; Ramos, 1994, 2009; NOAA, 2010; Leal, 2011).

Valores elevados de densidades de drenagem e hídrica e valores baixos do comprimento médio das vertentes e do coeficiente de manutenção revelam que a rede de drenagem natural de uma bacia hidrográfica é eficiente, o que implica a rápida concentração da água proveniente da precipitação nos talvegues e no colector principal (Reis, 2006; NOAA, 2010; Leal, 2011). É aí que o escoamento atinge as velocidades mais elevadas, fazendo com que os caudais de ponta sejam mais elevados e ocorram mais cedo do que em bacias cujas redes são menos densas (Ramos, 2009). Tal significa que o curso de água é capaz de transportar uma grande carga sólida e de originar uma erosão fluvial significativa, aumentando a magnitude das cheias rápidas. Como já foi dito, as densidades de drenagem ($3,3 \text{ km/km}^2$) e hídrica ($6,8 \text{ cursos de água/km}^2$) da bacia de Barcarena não podem ser consideradas elevadas em comparação com as existentes em outros pontos do País, em bacias que se desenvolvem nas formações geológicas do Maciço Antigo. Apesar disso, estas densidades não podem ser desprezáveis no contexto da AML, até porque a rede de drenagem é mais densa no sector montante da bacia (figura 7.6a), o que, aliado à reduzida permeabilidade, promove a rápida concentração do escoamento no colector principal. Por outro lado, a forma alongada da bacia faz com que o seu curso de água principal seja também ele extenso (à escala de uma pequena bacia), o que significa que o tempo de concentração é mais elevado do que em muitas bacias da AML. Num tipo de fenómeno natural em que o factor tempo é crucial, como é o caso das cheias rápidas, isto é algo que pode fazer toda a diferença.

A verdade é que as características físicas da bacia de Barcarena não a tornam particularmente perigosa aquando da ocorrência de episódios de precipitação intensa. Exceptuando o substrato geológico e os solos, que conferem à bacia um grau de impermeabilização elevado, os restantes factores não apresentam características capazes de exponenciar de forma significativa os efeitos da precipitação (tabela 7.7). Assim sendo, os factores variáveis (ocupação do solo), tal como a

exposição, podem desempenhar um papel importante nesta bacia, até pelo seu historial de ocorrências relativas a cheias rápidas.

7.3. OCUPAÇÃO DO SOLO - FACTORES VARIÁVEIS DAS CHEIAS RÁPIDAS

A bacia hidrográfica de Barcarena situa-se numa área da AML em que o processo de urbanização se tem vindo a acentuar no decurso das últimas décadas. Esta bacia é atravessada pelas linhas ferroviárias de Sintra (no sector montante) e de Cascais (no sector jusante) que, recorde-se, foram dois dos principais eixos de crescimento urbano da AML. Também a A5 e o IC19, concluídos em 1991 e 1994¹³, respectivamente, são muito relevantes no contexto da mobilidade intermunicipal, sendo as duas vias com maior volume de tráfego em Portugal. O tráfego médio diário relativo ao ano de 2017 apontava para quase 89 mil viaturas na A5 e para mais de 107 mil viaturas no IC19¹⁴. A melhoria das acessibilidades rodoviárias e a consequente generalização da utilização do transporte individual permitiu a expansão das manchas urbanas nos municípios na qual a bacia de Barcarena está incluída: Sintra e Oeiras. Isto é fundamental para a compreensão da ocupação do solo e da sua evolução espacial e temporal nesta bacia.

Segundo a informação obtida através da COS 2010, as áreas edificadas ocupavam 47% da área total da bacia, as áreas florestais 39% e as áreas agrícolas 14% (figura 7.8a). O facto de quase metade da bacia apresentar um elevado nível de impermeabilização, resultante das áreas edificadas, nas quais os locais de infiltração são reduzidos ou nulos, agrava o problema relacionado com o seu baixo grau de permeabilidade natural. Os impactes da impermeabilização antrópica no âmbito das cheias rápidas são conhecidos. Da cobertura do solo com materiais impermeáveis e de baixa rugosidade advém a redução da infiltração e o aumento do volume e velocidade do escoamento superficial que, por sua vez, resultam na diminuição dos tempos de concentração e de resposta das bacias e no incremento da frequência e magnitude destes fenómenos naturais (Chow *et al.*, 1988; McCuen, 1997; Smith e Ward, 1998; Butler e Davies, 2004; NOAA, 2010).

¹³ O primeiro troço da A5 (Lisboa-Estádio Nacional) foi inaugurado em 1944, na altura ainda denominada por Estrada Nacional nº7. As obras de expansão até Cascais só ficariam concluídas em 1991. Quanto ao IC19, correspondia à antiga Estrada Nacional nº249, sendo posteriormente reconvertida em via rápida. Foi inaugurada como IC19 em 1994.

¹⁴ Dados obtidos através do Relatório de Tráfego na Rede Nacional de Autoestradas para o 4º semestre de 2017, publicado pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT). Os números apresentados referem-se à média ponderada dos troços das estradas.

Através do *curve number* (CN), que combina os tipos hidrológicos de solos com a ocupação do solo, é possível saber que dominam as superfícies com permeabilidade reduzida (figura 7.8b). O CN global da bacia de Barcarena é de 79,4, sendo que mais de 70% da sua área está ocupada por superfícies com valores de CN superiores a 75 e mais de 40% apresenta valores acima de 90 (figura 7.8b). Recorde-se que os solos existentes na bacia de Barcarena resultam, em grande medida, da meteorização do substrato geológico subjacente, logo apresentam características hidráulicas semelhantes. Isto significa que o CN, ao combinar as permeabilidades natural e antrópica, é um indicador que retrata de forma muito aproximada a permeabilidade real da bacia.

Este é o retrato global da bacia de Barcarena, mas interessa igualmente analisar as variações espaciais existentes. As manchas correspondentes às áreas edificadas encontravam-se, em 2010, disseminadas por toda a bacia (figura 7.9a), algo decorrente do uso comum do transporte individual. As áreas em que a urbanização é mais contínua correspondem aos pólos suburbanos originais, localizados ao longo dos eixos ferroviários de Sintra e Cascais, e que, entretanto, se expandiram de forma rápida nas últimas décadas. São os casos de Agualva-Cacém, Massamá, Mira-Sintra, Linda-a-Pastora ou Caxias. A localização das aglomerações urbanas é facilmente identificável na distribuição espacial dos valores do CN, dado que, a essas áreas, estão associados valores superiores a 90 (figura 7.9b).

O sector nordeste ou montante da bacia de Barcarena, onde predominam as áreas florestais (figura 7.9a), é aquele que mantém um carácter mais natural e que possui o maior grau de permeabilidade (figura 7.9b). A manutenção destas áreas florestais, aliada à existência de solos de tipo A (figura 7.4b), favorece a interceptação e a infiltração da água num sector da bacia em que a componente relevo assume maior relevância (figura 7.5). Para além destas, as áreas de cariz florestal ainda estão presentes em diversos pontos da bacia, embora de uma forma menos contínua no espaço (figura 7.9a). Assim, e também devido à presença de áreas de índole agrícola, Barcarena não deve ser considerada uma bacia urbana, mas uma bacia com uma importante componente urbana.

Registaram-se muitas modificações na bacia de Barcarena no período 1990-2012. Em 22 anos, deu-se uma inversão entre as áreas edificadas e as áreas de cariz agrícola. As áreas edificadas representavam apenas 30% em 1990, aumentando a sua importância para 51% em 2012, enquanto as áreas agrícolas passaram de 51% em 1990 para 31% em 2012 (figura 7.10). Isto significa que o crescimento urbano se processou à custa das áreas agrícolas, uma vez que a relevância das áreas florestais permaneceu quase inalterada durante o período considerado (figura 7.10). Espacialmente, as maiores alterações na bacia de Barcarena são visíveis no sector intermédio, onde uma parte significativa da superfície ocupada por áreas agrícolas foi substituída por áreas edificadas, embora também sejam notórias diferenças nos sectores montante e jusante da bacia (figura 7.11).

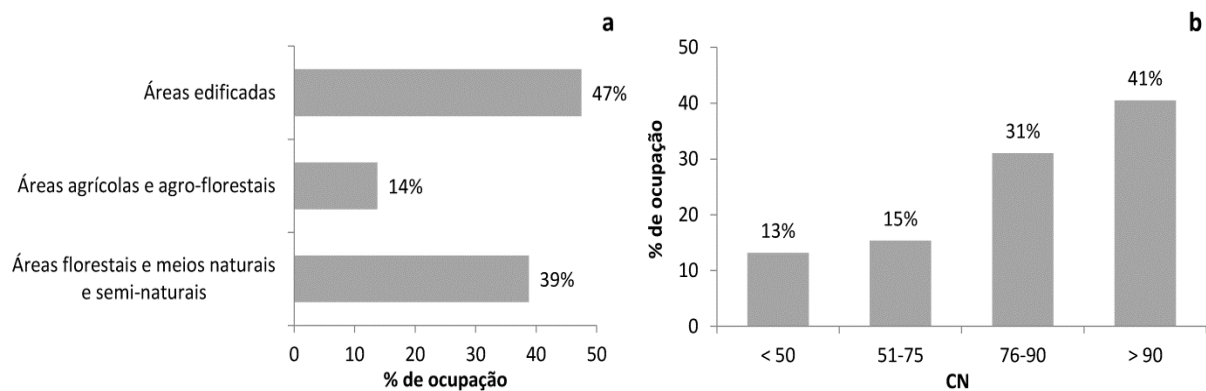


Figura 7.8 Frequência (%) das classes de ocupação do solo **(a)** e de *curve number* **(b)** na bacia de Barcarena.

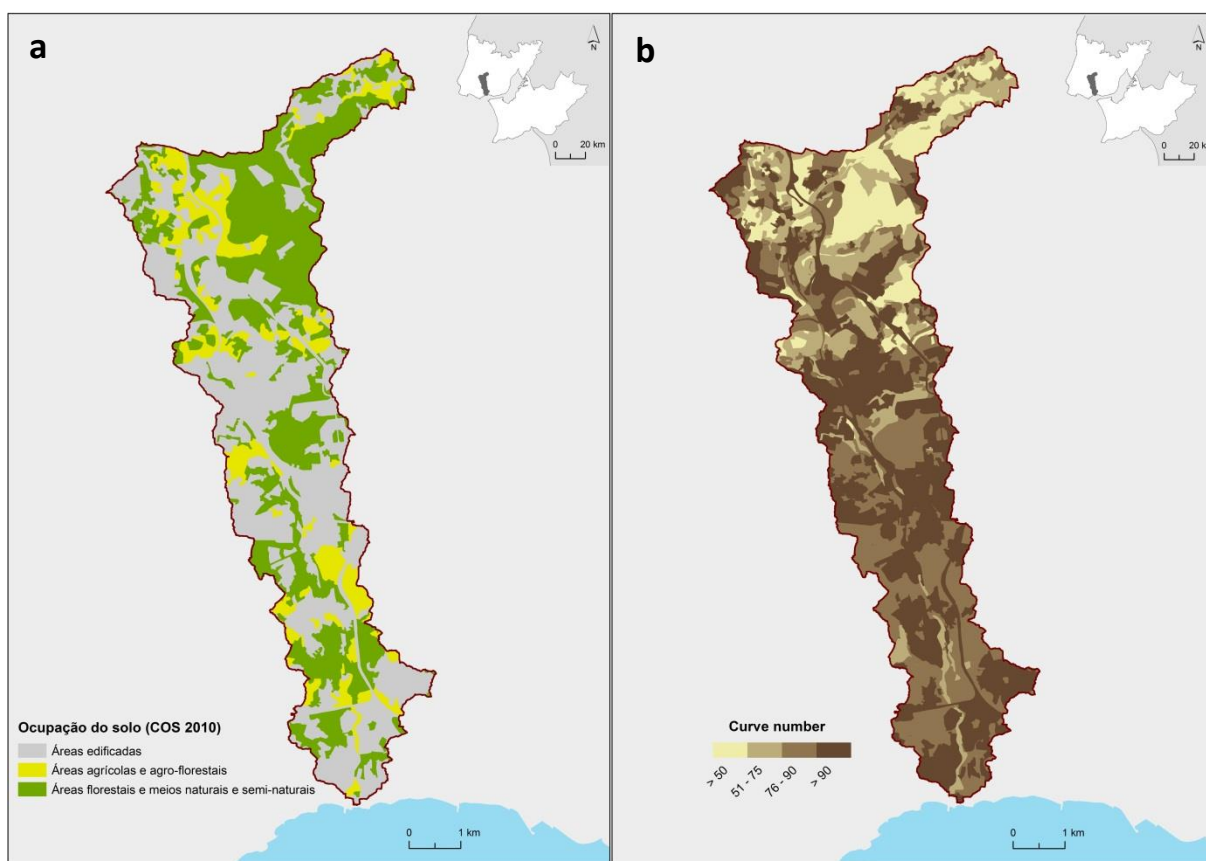


Figura 7.9 Ocupação do solo em 2010 **(a)** e valores de *curve number* **(b)** na bacia de Barcarena.

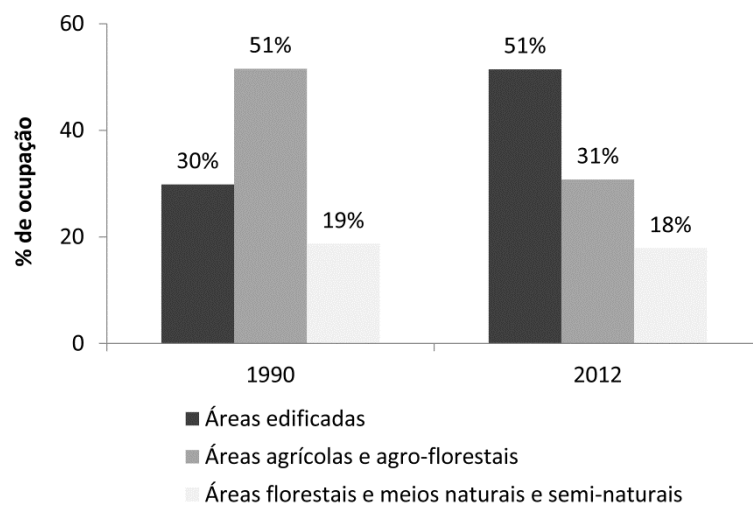


Figura 7.10 Evolução da ocupação do solo na bacia de Barcarena entre 1990 e 2012.

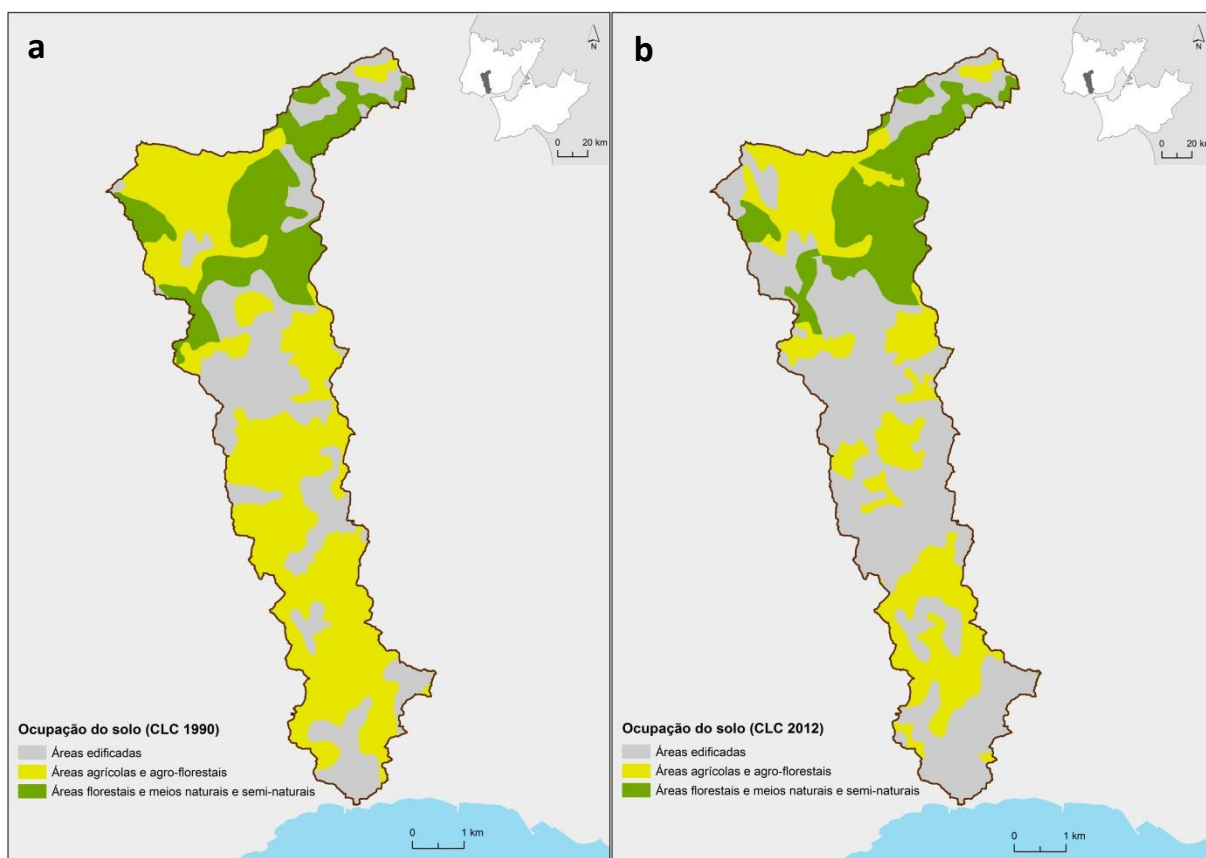


Figura 7.11 Ocupação do solo na bacia de Barcarena em 1990 (a) e 2012 (b).

SÍNTESE DO CAPÍTULO 7

A bacia hidrográfica de Barcarena é uma pequena bacia cujas características naturais têm importâncias distintas no âmbito das cheias rápidas e actuam em sentidos opostos na mitigação ou agravamento dos efeitos das precipitações intensas. O melhor exemplo disso é a geometria da bacia, em que a sua dimensão reduzida favorece o desenvolvimento de cheias rápidas, mas a sua forma alongada actua no sentido contrário.

As formações geológicas que afloram na bacia de Barcarena estão datadas do Jurássico Superior ao Holocénico, ainda que, na sua maioria, pertençam ao período Cretácico, sendo formadas em condições ambientais diversas. As rochas sedimentares carbonatadas (calcários e margas) são predominantes, embora existam também formações detríticas (arenitos, conglomerados ou pelitos), provenientes de acarreios continentais. A modificação de um quadro tectónico distensivo para compressivo durante o Cretácico Superior provocou diversos efeitos na AML, entre os quais a formação do Complexo Vulcânico de Lisboa, que se depositou sobre as rochas sedimentares existentes. O material pertencente ao Complexo Vulcânico de Lisboa cobre uma importante parte da bacia de Barcarena, estando presente a sul de Agualva-Cacém.

O grau de permeabilidade média da bacia de Barcarena é baixo devido à extensão das formações vulcânicas (Complexo Vulcânico de Lisboa), margosas e argilosas. Por resultarem da meteorização destas formações, também os solos favorecem o escoamento superficial em detrimento da infiltração, sendo a maioria da bacia constituída por solos de tipo hidrológico D. O grau de permeabilidade reduzido que o substrato geológico e os solos conferem à bacia de Barcarena tornam-na mais susceptível às cheias rápidas, pois grande parte da precipitação transforma-se em escoamento superficial. O relevo aplanado existente na área em que a bacia de Barcarena se integra foi, essencialmente, modelado pela rede hidrográfica. Ambos os factores não são capazes de exponenciar de forma substancial os efeitos da precipitação, já que não se pode dizer que o relevo seja vigoroso, nem que a rede de drenagem apresente uma densidade elevada. Assim sendo, e exceptuando o substrato geológico e os solos, os factores permanentes (naturais) das cheias rápidas na bacia de Barcarena não propiciam o seu agravamento.

No que respeita à ocupação do solo, a bacia de Barcarena assume um pendor urbano, em que as áreas edificadas já representavam, em 2010, mais de metade do seu território, mas em que as áreas agrícolas e florestais ainda possuíam alguma relevância. A expansão dos aglomerados urbanos, como Agualva-Cacém, Massamá ou Caxias, tem contribuído para o incremento da impermeabilização do solo e para a redução da infiltração. Este contexto e a tendência de crescimento das áreas edificadas devem ser encarados com preocupação, tendo em conta as suas consequências nos caudais de ponta de cheia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - CAPÍTULO 7

- Butler, D., Davies, J.W., 2004. Urban Drainage, 2nd ed. Spon Press, London. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Chow, V. Te, Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. Applied Hydrology. Mc-Graw-Hill.
- Kochel, R.C., 1988. Geomorphic Impact of Large Floods: Review and New Perspectives on Magnitude and Frequency, in: Baker, V., Kochel, R.C., Patton, P. (Eds.), Flood Geomorphology. Wiley, New York, pp. 169–188.
- Kullberg, J.C., 2000. Evolução tectónica Mesozóica da bacia Lusitaniana. Dissertação de Doutoramento em Geologia, Especialidade Geologia Estrutural, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Kullberg, J.C., Rocha, R.B., Soares, A.F., Rey, J., Terrinha, P., Callapez, P., Martins, L., 2006. A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica, in: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Eds.), Geologia de Portugal No Contexto Da Ibéria. Universidade de Évora, pp. 317–368.
- Leal, M., 2011. As cheias rápidas em bacias hidrográficas da AML Norte: factores condicionantes e desencadeantes. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- Lencastre, F.M., Franco, A., 1984. Lições de Hidrologia. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Leopold, L.B., 1968. Hydrology for Urban Land Planning - A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use. Geological Survey Circular 554, United States Department of the Interior, Washington.
- Linsley, R.K., Kohler, M., Paulhus, J.L.H., 1988. Hydrology for Engineers. McGraw-Hill, New York.
- McCuen, R.H., 1997. Hydrologic Analysis and Design, 2nd editio. ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Moniz, C., 2010. Contributo para o conhecimento da falha de Pinhal Novo – Alcochete, no âmbito da neotectónica do vale inferior do Tejo. Dissertação de Mestrado em Geologia, Especialização em Geologia Estrutural, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- NOAA, 2010. Flash Flood Early Warning System Reference Guide. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Pais, J., Cunha, P.P., Pereira, D., Legoinha, P., Dias, R., Moura, D., Brum da Silveira, A., Kullberg, J.C., González-Delgado, J.A., 2012. The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal): A Cenozoic record in the European Atlantic Domain. Springer. doi:10.1007/978-3-642-22401-0
- Pilgrim, D.H., Cordery, I., 1993. Flood runoff, in: Maidment, D.R. (Ed.), Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, New York, p. 9.1-9.42.
- Ramalho, M.M., Pais, J., Rey, J., Berthou, P.Y., Matos Alves, C.A., Palácios, T., Leal, N., Kullberg, M.C., 1993. Notícia explicativa da folha 34-A Sintra. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Ramalho, M.M., Rey, J., Zbyszewski, G., Matos Alves, C.A., Palácios, T., Moitinho de Almeida, F., Costa, C., Kullberg, M., 2001. Notícia explicativa da folha 34-C Cascais. Departamento de Geologia, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Ramos-Pereira, A., 1998. Traços Gerais da Geografia Física do Concelho de Oeiras, in: 1º Ciclo de Estudos Oeirenses: Oeiras - A Terra e Os Homens. Celta Editora, pp. 23–30.
- Ramos, C., 1994. Condições geomorfológicas e climáticas das cheias da Ribeira de Tera e do Rio Maior (bacia hidrográfica do Tejo). Dissertação de Doutoramento em Geografia Física,

Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa.

- Ramos, C., Reis, E., 2002. Floods in Southern Portugal: Their Physical and Human Causes. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 7, 267–284. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1024475529524>
- Ramos, C., 2009. Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território. Núcleo de Investigação em Sistemas Litorais e Fluviais: Dinâmicas, Mudanças Ambientais e Ordenamento do Território (SLIF – 6), Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Ramos, C., Zêzere, J.L., Reis, E., Mendonça, J.L., 2010. Reserva Ecológica Nacional da Área Metropolitana de Lisboa: Quadro de referência regional. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Lisboa.
- Reis, E., 2006. As bacias hidrográficas das Ribeiras da Serra de Grândola – dinâmica hidrológica e factores condicionantes. Dissertação de doutoramento em Geografia (Geografia Física), Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D., Monteiro, J.H., 1979. Introduction à la géologie générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal.
- Ribeiro, C., 1857. Reconhecimento geologico e hydrologico dos terrenos das visinhanças de Lisboa com relação ao abastecimento de aguas desta cidade. Typographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa.
- Smith, K., Ward, R., 1998. *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. Wiley, Chichester.
- Trigo, R.M., Ramos, C., Pereira, S.S., Ramos, A.M., Zêzere, J.L., Liberato, M.L.R., 2016. The deadliest storm of the 20th century striking Portugal: Flood impacts and atmospheric circulation. *J. Hydrol.* 541, 597–610. doi:[10.1016/j.jhydrol.2015.10.036](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.036)
- Vasconcelos, M., 2011. Cartografia de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente em contexto urbano: o concelho de Lisboa. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

CAPÍTULO 8

SUSCEPTIBILIDADE E PERIGOSIDADE ÀS CHEIAS RÁPIDAS NA BACIA DE BARCARENA

O capítulo 8 pretende analisar a temática das cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena à escala da bacia e à escala local, para as quais se recorrem a métodos diferentes em função das suas características e dos objectivos específicos da investigação.

De forma genérica, este capítulo está organizado em três segmentos. O primeiro destina-se à avaliação da susceptibilidade às cheias rápidas dos cursos de água que compõem a bacia. No fundo, trata-se do seguimento lógico dos factores condicionantes da bacia de Barcarena, abordados no capítulo 7, já que o modelo de susceptibilidade utilizado define a propensão para determinadas linhas de água ou sectores serem afectados por cheias rápidas. O segundo segmento procura, por um lado, demonstrar a influência das características das precipitações desencadeantes e das condições antecedentes de humidade no escoamento e nos hidrogramas de cheia da bacia. Por outro, e face à ausência de dados hidrométricos, tem como objectivo determinar os caudais de ponta de cheia para vários períodos de retorno através da modelação hidrológica. A sua determinação é algo indispensável para o terceiro e último segmento deste capítulo. Os caudais de ponta de cheia são o *input* do modelo hidráulico aplicado num sector da bacia de Barcarena (escala local), definido a partir dos resultados do modelo de susceptibilidade e do modelo hidrológico. Por sua vez, a modelação hidráulica permite espacializar as áreas inundáveis correspondentes a diversas recorrências através dos SIG, assim como aferir a variação espacial da altura da coluna de água e da velocidade do escoamento. São estes parâmetros que possibilitam a avaliação da perigosidade às cheias rápidas no sector considerado da bacia hidrográfica de Barcarena.

8.1. RECOLHA E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

A avaliação da susceptibilidade e da perigosidade às cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena apresentada ao longo deste capítulo foi efectuada com recurso a metodologias distintas, aplicadas a escalas diferentes, mas que recorrem aos mesmos dados de base. A avaliação destas duas componentes do risco assenta no mesmo princípio: a construção de um modelo que represente a realidade de forma tão fiel e aproximada quanto possível. As metodologias empregues para determinar a susceptibilidade e a perigosidade recorrem à informação altimétrica já utilizada no capítulo 7, aquando da delimitação da bacia hidrográfica e da geração da rede hidrográfica. Tendo em conta o seu elevado grau de detalhe, esses dados garantem um óptimo ponto de partida para a modelação e espacialização das áreas inundáveis. Apesar do recurso aos mesmos dados de base, as metodologias e as escalas de análise diferem para a susceptibilidade e para a perigosidade. Enquanto a susceptibilidade será avaliada para toda a bacia de Barcarena através de um conjunto de procedimentos espaciais gerados em SIG, a perigosidade será determinada numa área mais circunscrita da bacia através dos métodos hidrológico-hidráulicos.

8.1.1. Avaliação da susceptibilidade

A susceptibilidade às cheias rápidas na bacia de Barcarena foi determinada através do modelo apresentado em Reis (2011), que permite avaliar as condições das áreas que drenam para cada ponto da bacia, identificando assim a dinâmica fluvial ao longo dos troços da rede hidrográfica (Reis, 2011). Ao contrário de outros, este modelo assume como princípio que o comportamento do escoamento depende, em grande medida, das condições naturais e antrópicas do sector que está a montante de cada célula (Reis, 2011).

Este modelo baseia-se na integração das três variáveis condicionantes fundamentais para a avaliação da susceptibilidade às cheias, consideradas constantes no tempo (Reis, 2011; Lúcio, 2014): a área acumulada, o declive médio e a permeabilidade média. Em relação ao modelo original (Reis, 2011) e a outros trabalhos em que este foi aplicado (e.g. Lúcio, 2014; Jacinto *et al.*, 2015; Santos e Reis, 2017) foi adicionado o efeito da preia-mar. Tendo em conta a reduzida dimensão da bacia hidrográfica de Barcarena e o contexto geográfico no qual está inserida, considerou-se que a preia-mar pode ser um elemento relevante na modificação da susceptibilidade às cheias rápidas no sector jusante do curso de água. É sabido que a maré pode funcionar como tampão ao escoamento fluvial, exacerbando a altura da água atingida no troço final da ribeira, especialmente quando a preia-mar coincide com os caudais mais elevados. Isto significa que são quatro as variáveis incluídas no modelo de susceptibilidade, embora esta última não deva ser considerada constante no tempo, pois o efeito da maré pode verificar-se ou não, em função da sua altura.

A área acumulada representa o número acumulado de células ou, por outras palavras, a superfície que drena para cada ponto da bacia hidrográfica. Esta foi gerada a partir do MDT já utilizado no capítulo anterior, construído com informação altimétrica à escala 1:1000, 1:2000 ou 1:5000¹⁵ e cujas células têm dimensão de 4 m² (2 x 2m), sendo obtida através da ferramenta *flow accumulation* do *ArcMap*. É também o MDT que está na base do declive médio. Contudo, para a sua obtenção é necessário, numa primeira fase, conhecer o declive acumulado, que resulta do cruzamento entre o declive e a direcção dos fluxos (*flow direction*). O resultado deve ser, posteriormente, dividido pela área acumulada. Este indicador permite saber qual o declive médio do sector que drena para cada célula.

No que diz respeito à permeabilidade, esta pode resultar de combinações entre a litologia, os solos e a ocupação do solo, factores aos quais são atribuídas ponderações. Neste caso, o utilizador deve considerar quais são os factores mais relevantes na área de estudo. O modelo original (Reis, 2011) recorre à litologia e à ocupação do solo. Os valores referentes à litologia representam a permeabilidade relativa e podem ser consultados na tabela 7.3. Os valores alusivos à ocupação do solo (COS 2010) revelam o grau de impermeabilização e estão presentes na tabela 8.1. Do cruzamento entre a permeabilidade relativa e o grau de impermeabilização resulta a permeabilidade modificada. O passo seguinte passa pela inversão da gama de valores. Como se disse no capítulo 7, quanto mais baixo for o valor de permeabilidade da litologia maior será a impermeabilização, porém no âmbito do modelo de susceptibilidade, a lógica é a oposta. Ao considerar a direcção dos fluxos e a área acumulada, tal como foi feito para o declive médio, é possível determinar a permeabilidade acumulada e a permeabilidade média, respectivamente.

A introdução do grau de impermeabilização, que resulta da acção antrópica no factor permeabilidade depende do objectivo do utilizador. Se se pretende aferir a susceptibilidade intrínseca/natural de uma bacia, então a permeabilidade deve resultar apenas da litologia e/ou dos solos. Neste caso, a ocupação do solo não deve ser introduzida no modelo. Por outro lado, há que reconhecer que a susceptibilidade às cheias numa bacia hidrográfica como a de Barcarena é grandemente condicionada pelas áreas impermeabilizadas, o que significa que a ocupação do solo permite dotar o modelo de maior robustez. A introdução da impermeabilização imposta pelas áreas edificadas faz com que a permeabilidade deixe de ser uma componente constante no tempo. Apesar dos resultados do modelo deixarem de ser intemporais devido à evolução da ocupação do solo, estes estarão sempre mais próximos da realidade futura, dado que, só em circunstâncias excepcionais uma área edificada deixará de o ser. Por tudo isto, optou-se pela inserção desta componente no modelo.

¹⁵ Como foi explicado no capítulo 7, as curvas de nível possuem escalas diferentes dependendo da área e da entidade que forneceu os dados (câmaras municipais de Sintra ou de Oeiras).

Tabela 8.1 Permeabilidades atribuídas às várias classes de ocupação do solo.

Classes de ocupação do solo	Permeabilidade
Áreas edificadas	0
Áreas edificadas dispersas	0,5
Áreas agrícolas e agro-florestais	1
Áreas florestais e meios naturais e semi-naturais	1

Para além da combinação da litologia com a ocupação do solo, foi também testada a hipótese do *curve number* (CN) como indicador de permeabilidade da bacia, tal como foi realizado em Jacinto *et al.* (2015). Recorde-se que o CN advém do cruzamento entre o tipo hidrológico de solo e a ocupação do solo. De seguida determina-se a permeabilidade acumulada e a permeabilidade média, nos mesmos moldes definidos anteriormente.

Por último, a delimitação do efeito da preia-mar foi efectuada através de observação no campo. Segundo o Instituto Hidrográfico (IH), a previsão da altura da preia-mar para o porto de Cascais na data de deslocação ao local (2 de Agosto de 2018) foi de 3,10 metros. Tendo em conta que a altura máxima da preia-mar no porto de Cascais é de 4 metros, decidiu-se prolongar o efeito da maré cerca de uma centena de metros para montante, definindo-se a ponte onde termina a estrada da Cartuxa como o limite norte. Assim, estima-se que o efeito da maré alta se faça sentir até cerca de 470 metros para montante do viaduto da estrada de Gibalta (desembocadura definida para a bacia). Como é normal, ao longo deste troço o efeito da maré vai-se esbatendo, o que se significa que a importância deste factor é progressivamente menor de jusante para montante, assim como os valores a inserir no modelo de susceptibilidade.

Como os valores dos factores condicionantes possuem escalas de variação diferentes é necessário proceder à sua padronização. Deste modo, os valores foram convertidos para uma escala entre 0 (susceptibilidade nula) e 10 (susceptibilidade máxima), sendo obtidos através de uma função linear. As quatro variáveis são integradas no modelo de susceptibilidade através de uma Análise Multi-Critério e que funciona de forma iterativa. Trata-se de um procedimento de ajustamento progressivo dos elementos representativos das variáveis condicionantes utilizadas no modelo e das suas ponderações (definidas em função da sua importância na dinâmica fluvial da bacia). A expressão genérica que traduz a susceptibilidade às cheias é a seguinte:

$$S = c_a \cdot A + c_p \cdot P + c_d \cdot D + c_m \cdot M$$

S = susceptibilidade às cheias rápidas; A = área acumulada; P = permeabilidade média; D = declive médio; M = efeito da preia-mar; c_a , c_p , c_d , c_m = coeficientes de ponderação respectivos.

De modo a averiguar a importância de cada um dos quatro factores condicionantes na determinação da susceptibilidade às cheias na bacia de Barcarena, foram testadas sete combinações

de ponderações. Tendo em consideração que há duas alternativas para obter a permeabilidade, as sete combinações de ponderações foram executadas em duplicado, uma vez que, para cada uma delas, há dois *inputs* de permeabilidade testados, totalizando 14 hipóteses.

Sendo um processo iterativo, aos resultados de susceptibilidade gerados a partir de cada uma das combinações testadas são sobrepostas as ocorrências de cheias registadas, para que se possa aferir o grau de concordância espacial entre ambos. O melhor resultado será o que melhor explicar as ocorrências de cheias. Note-se que este modelo de susceptibilidade se valida a si próprio, pois é construído em função das ocorrências e essas mesmas ocorrências servem para avaliar e validar os resultados do modelo.

Quanto às ocorrências utilizadas, estas correspondem ao conjunto das ocorrências DISASTER, sinistros APS e pontos críticos identificados em LNEC (2009) relativos a cheias rápidas. O SNPC (Serviço Nacional de Protecção Civil) e o SNIRH também disponibilizam informação referente a marcas e referências a cheias e inundações, mas estas bases de dados não foram utilizadas por motivos diferentes. Se, no caso do SNPC não existe informação suficiente para determinar o tipo de inundação nem a localização precisa das ocorrências, no caso do SNIRH não há qualquer marca ou referência de cheia para a bacia hidrográfica de Barcarena.

O esquema conceptual do modelo de avaliação de susceptibilidade à ocorrência de cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena está patente na figura 8.1, distinguindo-se a forma como se obtém a permeabilidade: através da combinação entre litologia e ocupação do solo (figura 8.1a) ou através do CN (figura 8.1b).

Conhecendo a susceptibilidade às cheias das linhas de água que compõem a rede hidrográfica, é possível obter as respectivas áreas inundáveis através da espacialização dos resultados alcançados para as células adjacentes, desde que constituam áreas planas ou de fraco declive (Reis, 2011). No entanto, optou-se por não se determinar as áreas inundáveis para a bacia de Barcarena por vários motivos. Em primeiro lugar, a continuidade longitudinal das áreas aplanadas é interrompida sempre que existe uma curva de nível a cruzar o canal fluvial, gerando degraus virtuais, que não existem na realidade, e incrementos acentuados do declive nesses locais. Como tal, as áreas inundáveis obtidas não seriam contínuas. A correcção desses erros obrigaria a um conjunto de procedimentos para conectar as áreas planas desligadas que, para além de serem consumidores de tempo, iriam acarretar um aumento da incerteza associada às áreas inundáveis. Por outro lado, considerou-se que, não se tratando de um processo simples, não se justificava a sua execução, uma vez que a determinação das áreas inundáveis será efectuada mais adiante nesta dissertação, e com recurso a métodos mais sofisticados e apropriados, como os métodos hidrológico-hidráulicos.

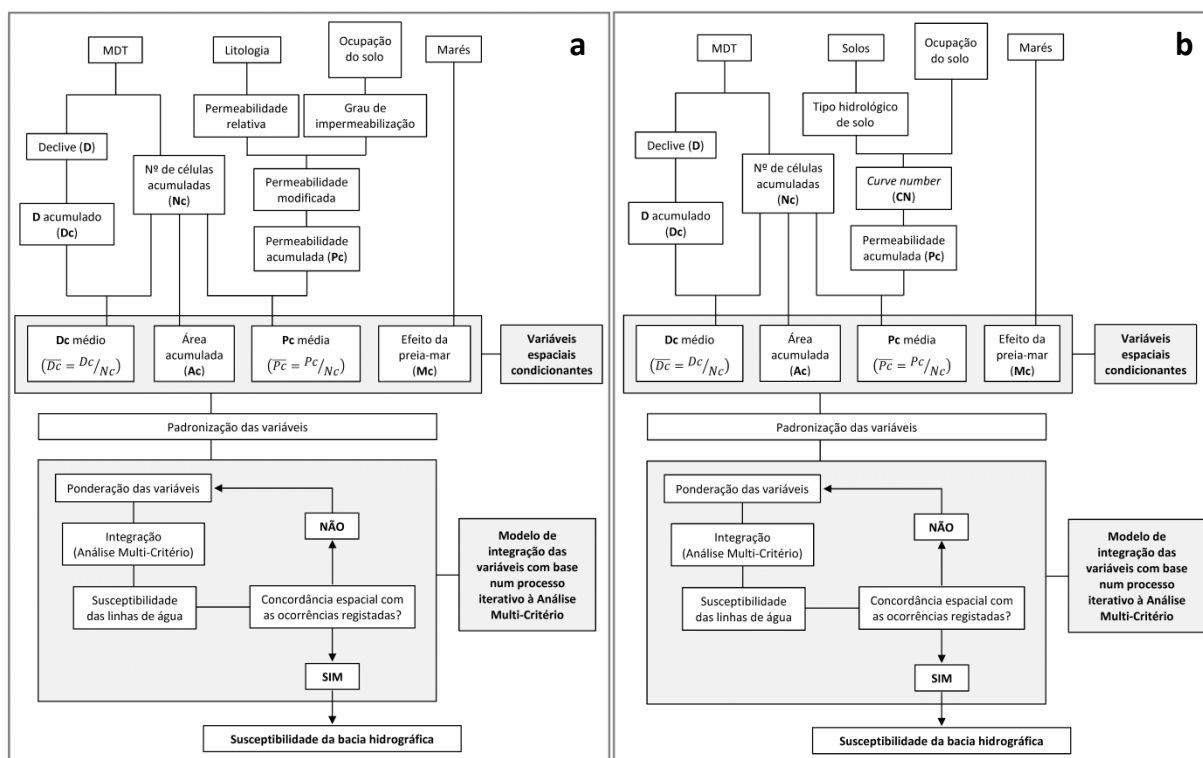


Figura 8.1 Esquemas conceptuais do modelo de avaliação de susceptibilidade à ocorrência de cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena: **a)** permeabilidade definida a partir da combinação entre litologia e ocupação do solo; **b)** permeabilidade definida a partir do CN. Esquemas adaptados de Reis (2011).

8.1.2. Avaliação da perigosidade

Para além da susceptibilidade às cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena, procurou-se determinar a sua perigosidade. Para além da dimensão espacial ligada à susceptibilidade, a perigosidade contempla também a dimensão temporal, isto é, a recorrência ou período de retorno. Para a avaliação da perigosidade às cheias na bacia de Barcarena foram utilizados os métodos hidrológico-hidráulicos. Para tal recorreu-se, em primeiro lugar, à modelação hidrológica e, mais tarde, à modelação hidráulica, num processo explicado de seguida.

8.1.2.1. Modelação hidrológica

No caso da bacia hidrográfica de Barcarena, a avaliação da perigosidade acarreta dificuldades adicionais porque a estação hidrométrica de Laveiras¹⁶ é a única que existe e tem muito poucos registos de escoamento/caudal. Este facto obrigou à utilização de dados de precipitação para obter os hidrogramas de cheia através de um modelo hidrológico ou *rainfall-runoff*. Este foi executado no *HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelling System)*, um programa desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Norte-Americano (*USACE – US Army Corps of*

¹⁶ A estação de Laveiras pertence à rede hidrométrica do SNIRH.

Engineers). Como se viu no capítulo 6, existem modelos com características muito variadas (figura 6.1). O modelo obtido com recurso ao *HEC-HMS* é um modelo hidrológico determinístico, de base física e agregado, que se baseia no princípio do evento único, ou seja, simula apenas um episódio de precipitação e o consequente comportamento hidrológico da bacia em função das condições de humidade do solo existentes naquele período (USACE, 2000). A construção de um modelo hidrológico com estas características envolve diversas etapas, que podem ser integradas em dois submodelos: de precipitação e de bacia hidrográfica. Não existe uma ordem definida para a sua construção, uma vez que o submodelo da precipitação pode ser concretizado antes ou depois do submodelo da bacia.

A precipitação representa o *input* no modelo hidrológico e pode ser integrada a partir de valores medidos em estações meteorológicas. Através destes valores é possível gerar um hidrograma de cheia num determinado ponto de uma bacia hidrográfica resultante de um dado evento de precipitação. Contudo, nem sempre os registos existentes têm detalhe temporal suficiente (informação horária ou até mais discriminada), o que não permite a correcta determinação dos hidrogramas de cheia. Por outro lado, estimar a probabilidade de ocorrência de uma dada quantidade de precipitação num determinado período de tempo é algo fundamental, especialmente em intervalos temporais curtos. Esta probabilidade pode ser obtida a partir de funções teóricas de distribuição (exemplo: lei de Gumbel), possibilitando a construção de curvas IDF (figura 2.12) e dos designados hietogramas de projecto. Estes representam uma repartição hipotética de uma precipitação com um determinado período de retorno ao longo de um período de tempo definido. Os hietogramas podem ter diferentes intervalos de tempo e configurações. São formados por parcelas de precipitação que ocorrem em intervalos de tempo sucessivos e de igual duração (exemplos: 10, 30 ou 60 minutos), designados como blocos de precipitação (Portela *et al.*, 2000). Estes blocos podem ser organizados em diferentes sequências temporais. Um hietograma pode ser uniforme no tempo ou ser formado por blocos crescentes, decrescentes ou alternados.

Tendo em conta o reduzido tempo de concentração da bacia hidrográfica de Barcarena (6h20), optou-se pela utilização de blocos de 10 minutos, pois um intervalo de tempo tão curto permite uma maior aproximação ao tempo de concentração da bacia. Utilizaram-se blocos alternados, o que implica que a maior quantidade de precipitação ocorre, sensivelmente, a meio da duração do evento chuvoso. Esta opção faz com que se atinjam caudais de ponta de cheia mais elevados quando comparados com os resultantes de hietogramas com outras configurações (Portela *et al.*, 2000) e, sobretudo, com aqueles cujo pico de precipitação está representado logo no início do gráfico (Brandão *et al.*, 2001).

A elaboração de hietogramas de projecto para a bacia de Barcarena recorreu aos valores apresentados em Brandão *et al.* (2001) para a estação meteorológica de São Julião do Tojal (SJT).

Parte das razões que justificam a escolha desta estação são as mesmas que foram referidas em capítulos anteriores. Em alternativa a SJT, poderiam ter sido utilizadas as estações de Lisboa (IGIDL - Instituto Geofísico do Infante D. Luís) e Lisboa (Portela), cujos parâmetros para a construção de curvas IDF também estão disponíveis em Brandão *et al.* (2001). Todavia, as precipitações estimadas para estas duas estações são mais baixas para durações iguais ou superiores a 3 horas, quando comparadas com as de SJT (Brandão *et al.*, 2001). Em questões de ordenamento do território e de medidas estruturais, manda a prudência que a avaliação da perigosidade às cheias se faça em função do pior cenário, logo, foi utilizada a estação meteorológica com valores estimados de precipitação mais elevados: SJT.

Foram então criados hietogramas com duração igual e dupla face ao tempo de concentração e para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. A duração seguinte (500 anos) proposta em Brandão *et al.* (2001) não foi utilizada porque a dimensão da série de dados de precipitação diária em SJT não garante que os resultados que advêm desse período de tempo sejam correctos.

Ao contrário do que acontece na dimensão temporal, a precipitação é considerada uniforme no espaço (modelo agregado), o que não representa um problema devido à pequena dimensão da bacia de Barcarena.

Definido o *input* (precipitação) do modelo hidrológico, desenvolve-se o submodelo da bacia hidrográfica. O *HEC-HMS* utiliza diversos elementos conectados de forma sucessiva até à desembocadura (*sink*) da bacia: sub-bacias (*subbasins*), trechos (*reaches*), confluências (*junctions*), reservatórios (*reservoirs*) e ramificações (*diversions*). No caso de Barcarena só foram considerados os três primeiros elementos, para além da desembocadura. As sub-bacias fazem a captação da precipitação, os trechos fazem as ligações entre os elementos a montante e a jusante, recriando também o comportamento do escoamento nos canais fluviais, e as confluências servem como receptor do escoamento proveniente dos elementos a montante.

As sub-bacias podem ser consideradas de duas formas, em que a dimensão e as características da bacia podem ter uma influência significativa na escolha. A primeira, baseada num critério hidrológico, em que uma sub-bacia é delimitada a partir da desembocadura do afluente no curso de água principal e se considera toda a área drenada por esse afluente. Eventualmente, podem ser definidas bacias mais pequenas dentro dessa sub-bacia, pois a sua dimensão pode justificá-lo. A segunda forma consiste na simples repartição da bacia em diversas porções, o que faz com que as sub-bacias passem a ser apenas uma área receptora de precipitação, deixando de ser um elemento hidrológico. Apesar de não ser um procedimento correcto do ponto de vista geomorfológico e hidrológico, tal torna o processo de modelação mais simples e rápido. Isto explica-se porque, ao delimitar as “verdadeiras” sub-bacias, existem sempre pequenos espaços “vazios” entre elas. Na verdade, estes espaços são sub-bacias de reduzida dimensão, cuja superfície é, muitas vezes,

insignificante. Se esses espaços não forem tidos em conta, uma parte da bacia hidrográfica não será considerada na modelação hidrológica, logo, os resultados finais irão pecar por defeito.

Para a bacia de Barcarena, optou-se por utilizar o critério geomorfológico/hidrológico na obtenção das sub-bacias e os espaços “vazios” foram considerados como áreas de transição. Deste modo, todas as áreas não drenadas pelas sub-bacias são áreas de transição, sendo que, entre uma sub-bacia e a que está a jusante, existe sempre uma área de transição. Em termos práticos e para efeitos do *HEC-HMS*, estas são inseridas da mesma forma que uma qualquer sub-bacia. O modelo implementado no *HEC-HMS* é constituído por 24 sub-bacias, 23 áreas de transição e 23 confluências, e está representado de forma simplificada na figura 8.2.

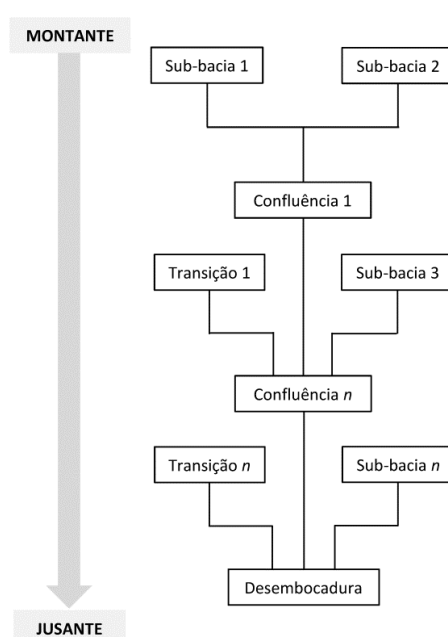


Figura 8.2 Esquema simplificado do submodelo de bacia hidrográfica implementado no *HEC-HMS*.

Os critérios escolhidos para a individualização de uma sub-bacia foram a hierarquia e a área, sendo que todas possuem, simultaneamente, uma hierarquia igual ou superior a 2 e uma superfície mínima de $0,2 \text{ km}^2$. Por conseguinte, 50.000 é o número mínimo de células acumuladas (20 hectares) para definir uma sub-bacia, o que representa cinco vezes mais em relação ao critério usado no capítulo anterior para se considerar uma linha de água na bacia de Barcarena. Tendo em conta os critérios de delimitação seleccionados, todas as sub-bacias têm ligação ao curso de água principal e possuem áreas entre $4,8 \text{ km}^2$ e $0,2 \text{ km}^2$. A delimitação de 24 sub-bacias permitiu detalhar os diferentes graus de impermeabilização existentes ao longo da bacia de Barcarena e realçar os efeitos da chegada ao curso de água principal de volumes de água provenientes de vários pontos da bacia em momentos distintos. Todavia, reconheça-se que um número menor poderia não prejudicar a qualidade dos resultados finais.

Vale a pena referir que, quando se cria um modelo hidrológico, é possível considerar a bacia como um todo, embora isso não seja aconselhável porque o hidrograma de cheia daí resultante não será correcto e o caudal de ponta de cheia será demasiado baixo. Por isso, é conveniente dividi-la em sub-bacias porque as características da bacia são distintas nos seus vários sectores, o que, por sua vez, faz variar a infiltração, a rapidez com que a água chega aos fundos de vale ou a velocidade e o volume do escoamento ao longo dos canais.

Para cada sub-bacia e cada trecho há diversos parâmetros a definir. No caso das sub-bacias, há cinco componentes que podem ser integradas e avaliadas pelo modelo hidrológico concebido no *HEC-HMS*: escoamento directo, escoamento sub-superficial, escoamento de base, acumulação (em depressões do terreno) e intercepção. A maioria destas componentes foi avaliada através das perdas de precipitação e da forma como esta se traduz em escoamento superficial. O *HEC-HMS* tem disponíveis vários métodos para o seu cálculo. No caso das perdas foi utilizado o CN do SCS, cujo valor permite estimar o grau de impermeabilização de cada sub-bacia, logo, é possível ter a noção da sua capacidade para gerar escoamento superficial, tal como da infiltração e intercepção. Em situações de precipitações intensas, a acumulação (tal como a evaporação e evapotranspiração) torna-se desprezável e, por isso, acabou por não ser incluída no modelo hidrológico.

Tanto os valores de CN para AMC II (condições de humidade médias ou normais) como para AMC III (solos próximos do ponto de saturação) foram incluídos no modelo hidrológico, o que possibilitou a comparação entre os caudais de ponta atingidos na bacia de Barcarena fruto de condições de humidade distintas. A utilização da situação AMC I (condições de secura) não é recomendável quando se pretendem estimar caudais de ponta de cheia, ao contrário da situação AMC III, que é a mais propícia à ocorrência de cheias com maior magnitude (Correia, 1984).

No que diz respeito à transformação da precipitação em escoamento, utilizou-se o hidrograma unitário sintético do SCS. Trata-se de um hidrograma adimensional, desenvolvido para pequenas bacias hidrográficas, inicialmente apenas agrícolas, mas entretanto generalizado a outros tipos de ocupação. A sua utilização requer o tempo de resposta da sub-bacia.

Quanto aos trechos, importa definir a forma como se faz a propagação do escoamento ao longo de um canal fluvial, expressa pela relação entre a velocidade da água e a área da secção por onde ela passa. É na equação da continuidade (que representa o princípio da conservação da massa) que assentam os métodos que expressam a propagação do escoamento nos trechos (Viessman e Lewis, 1995), entre os quais o utilizado para a bacia de Barcarena: o método de Muskingum. Este é, provavelmente, o método mais utilizado na propagação de ondas de cheia em canais. Para além da equação da continuidade, este método recorre a uma relação entre o armazenamento no trecho considerado e o caudal dele efluente (Madruga, 2013), sendo que o armazenamento depende principalmente do escoamento afluente/efluente e das características hidráulicas dos trechos

(Viessman e Lewis, 1995). A obtenção do armazenamento obriga à determinação dos parâmetros K (tempo de armazenamento, correspondente ao tempo do percurso da onda de cheia) e x (factor de ponderação que varia entre 0 e 0,5). Para o parâmetro x , foi utilizado o valor de 0,2 para todos os trechos da bacia hidrográfica de Barcarena, tal como sugerem Viessman e Lewis (1995). Quanto ao parâmetro K , este pode ser definido através um valor único para toda a bacia, tal como ocorre em CMO (2011), em que 2 m/s foi a velocidade adoptada. Como a velocidade do escoamento não é igual ao longo da bacia, decidiu-se utilizar outra metodologia, capaz de introduzir as diferenças existentes no modelo hidrológico e de o dotar de maior robustez. Note-se que as velocidades foram apenas obtidas ao longo do curso de água principal, algo que só é passível de ser executado devido à configuração alongada da bacia de Barcarena.

A quase inexistência de registos hidrométricos nesta bacia não possibilitou a obtenção da velocidade do escoamento de forma directa em nenhum ponto do curso de água. Na prática, são precisos os valores de caudal para obter as velocidades, mas, para se calcularem os caudais no *HEC-HMS*, são necessárias as velocidades. E a verdade é que não existe informação para nenhum destes parâmetros. Para se contornar este problema optou-se por inferir os valores de caudal para diferentes alturas de água em várias secções do curso de água principal. Mais tarde esses valores serviram para calcular as velocidades. Depois de analisadas as características do canal fluvial ao longo dos mais de 19 km de extensão do curso de água principal, foram traçados oito perfis transversais, representativos de oito sectores distintos.

Para as oito secções definidas obtiveram-se: 1) os declives do talvegue nas centenas de metros para montante dessas secções; 2) o coeficiente de rugosidade de Manning em função das características do canal fluvial; 3) a área e o perímetro molhado; 4) o caudal através da fórmula de Manning-Strickler; e 5) a velocidade. Apesar dos últimos três parâmetros terem sido calculados para diferentes alturas da coluna de água, decidiu-se adoptar 1 metro como valor referência para todos os sectores. Isto significa que a velocidade incluída no modelo hidrológico foi sempre a estimada para 1 metro de altura de água, independentemente do período de retorno da precipitação. Todavia, há que ter consciência que 1 metro pode ser um valor reduzido para os sectores em que o canal fluvial é mais estreito, mas também pode ser elevado quando o canal é mais largo. Em alternativa poderia utilizar-se um parâmetro estatístico como a velocidade média para as diferentes alturas calculadas, mas isso iria gerar valores considerados demasiado elevados, mesmo se forem comparados com os 2 m/s definidos em CMO (2011). Relembre-se que a metodologia adoptada visou, sobretudo, expressar as diferenças na velocidade do escoamento ao longo do curso de água principal, embora se trate sempre uma simplificação da velocidade. Para além do que já foi dito, acrescente-se que a metodologia empregue considera a velocidade do escoamento como uniforme na secção, e sabe-se que esta é menor junto às paredes e ao fundo do canal.

As fórmulas e parâmetros utilizados durante o processo explicado atrás são apresentados na tabela 8.2, enquanto as características e os valores obtidos para as oito secções estão presentes na tabela 8.3.

Tabela 8.2 Parâmetros e fórmulas utilizados para a obtenção da velocidade do escoamento em diferentes secções do canal fluvial na bacia hidrográfica de Barcarena.

Parâmetro	Fórmula	Notas
Coeficiente de rugosidade (n)	-	Os valores podem ser consultados em Chow (1959)
Área molhada (forma rectangular)	$A = b \cdot h$	A = área molhada (m^2) b = largura do fundo do canal (m) h = altura de água (m)
Perímetro molhado (forma rectangular)	$P = b + 2 \cdot h$	P = perímetro molhado (m) b = largura do fundo do canal (m) h = altura de água (m)
Área molhada (forma trapezoidal)	$A = (b + d \cdot h) \cdot h$	A = área molhada (m^2) b = largura do fundo do canal (m) d = declive do talude (m/m) h = altura de água (m)
Perímetro molhado (forma trapezoidal)	$P = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + d^2}$	P = perímetro molhado (m) b = largura do fundo do canal (m) h = altura de água (m) d = declive do talude (m/m)
Declive do talude	$d = m \cdot h$	d = declive do talude (m/m) m = distância horizontal entre a base e o nível da água no talude (m) h = altura de água (m)
Raio hidráulico	$R = A/P$	R = raio hidráulico (m) A = área molhada (m^2) P = perímetro molhado (m)
Caudal	$Q = \frac{A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}}{n}$	Q = caudal (m^3/s) A = área molhada (m^2) R = raio hidráulico (m) i = declive do talvegue (m/m) n = coeficiente de rugosidade
Velocidade	$V = Q/A$	V = velocidade (m/s) Q = caudal (m^3/s) A = área molhada (m^2) Sabendo o caudal e a área molhada, é possível obter a velocidade através da modificação da equação da continuidade ($Q = A \cdot V$)

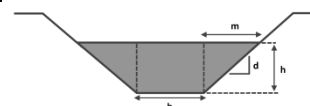
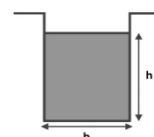


Tabela 8.3 Características das secções definidas para a ribeira de Barcarena (de montante para jusante).

Secção	Forma do canal	Características do canal fluvial	Coeficiente de rugosidade (Manning)	Declive (m/km)	Valores para 1m de altura de água	
					Caudal* (m^3/s)	Velocidade (m/s)
1	Trapézio	Natural	0,05	40,7	97,63	3,8
2	Trapézio	Natural	0,05	20,6	82,47	2,7
3	Trapézio	Natural	0,045	11,4	9,22	1,7
4	Trapézio	Natural	0,045	20,5	26,28	2,6
5	Trapézio	Paredes com enrocamento	0,033	10,2	17,55	2,5
6	Trapézio	Paredes com enrocamento	0,033	19,2	32,11	3,6
7	Trapézio	Paredes com enrocamento	0,033	9,1	20,17	2,5
8	Rectangular	Paredes em betão	0,02	6,3	35,26	3,5

* Neste contexto, os valores de caudal servem apenas para a estimativa das velocidades nas várias secções, não considerando a área drenada (a montante).

Os valores dos caudais de ponta de cheia na desembocadura da bacia de Barcarena para os diferentes períodos de retorno obtidos através do *HEC-HMS* foram comparados com os valores calculados com recurso a métodos empíricos cinemáticos e não cinemáticos. Dos métodos cinemáticos foram usados o Método Racional e o do SCS. O primeiro tem gerado bons resultados em bacias com área inferior a 25 km² (Ramos, 2009), isto é, ligeiramente mais pequenas do que a de Barcarena. O caudal de ponta de cheia pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6}$$

Q = caudal de ponta de cheia (m³/s); C = coeficiente de escoamento superficial (os valores podem ser consultados em Carvalho (1998)); i = intensidade da precipitação com duração igual ao tempo de concentração da bacia (mm/h); A = área da bacia (km²).

O método do SCS foi desenvolvido para aplicação em bacias com utilização agrícola (Ramos, 2009) e utiliza a seguinte fórmula:

$$Q = \frac{0,277 \cdot k \cdot A \cdot h_u}{T_p}$$

Q = caudal de ponta de cheia (m³/s); k = factor que varia entre 0,5 e 1, em função do declive da bacia (habitualmente utiliza-se 0,75); A = área da bacia (km²); h_u = precipitação útil (mm); T_p = tempo de crescimento (horas).

A precipitação útil (h_u) depende das perdas iniciais (h₀), ou seja, antes da precipitação se traduzir em escoamento superficial. Se a precipitação considerada (h) for igual ou inferior às perdas iniciais, então a precipitação útil será igual a 0. Se a precipitação for superior às perdas iniciais, é necessário calcular o valor da precipitação útil. As expressões de cálculo são as seguintes:

$$h_0 = \frac{5080}{CN} - 50,8$$

CN = *curve number*

$$h_u = \frac{(h - h_0)^2}{h + 4 \cdot h_0}$$

Dos métodos não cinemáticos, foi apenas utilizado o método de Portela e Dias (2003), já que o método de Loureiro (1984) deve ser, como o próprio autor reconhece, aplicado com reservas na faixa litoral a norte do rio Tejo devido à curta série de observação.

Foi referida anteriormente a quase inexistência de registos de escoamento/caudal na bacia hidrográfica de Barcarena, no entanto, a estação hidrométrica de Laveiras possui dados relativos ao nível hidrométrico instantâneo (horário) a partir de Novembro de 2001. Esta estação situa-se a cerca de 1 km de distância da desembocadura da ribeira e a sua área drenada é de 33,4 km², o que corresponde a 97% da área da bacia de Barcarena. Contudo, a secção onde está instalada é larga

(figura 8.3), o que resulta em alturas de água muito baixas, sobretudo nos meses mais secos. Isto é algo que não é condizente com os níveis registados pela estação hidrométrica, que apresenta valores sempre acima de 1 metro. Tanto a largura da secção como a elevada acumulação de sedimentos mais ou menos grosseiros que colmatam parte do fundo do canal (figura 8.3) podem justificar a falta de qualidade dos dados hidrométricos (Costa, 2009). Tendo em conta estes factos, a estação hidrométrica de Laveiras não foi considerada nesta investigação.



Figura 8.3 Estação hidrométrica de Laveiras e canal fluvial à passagem pela localidade com o mesmo nome (vista de montante para jusante).

8.1.2.2. Modelação hidráulica

Em função dos resultados obtidos através do modelo de susceptibilidade e da modelação hidrológica foi definido um sector para aplicação da modelação hidráulica, de modo a determinar as áreas inundáveis associadas a diferentes períodos de retorno (perigosidade). A sua concretização foi realizada através da interligação entre o *software HEC-RAS*¹⁷ (*Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*) e a extensão *HEC-GeoRAS* do *software ArcMap*. À semelhança do *HEC-HMS*, o *HEC-RAS* é um programa que reproduz modelos determinísticos e de base física e que executa cálculos hidráulicos de forma unidimensional ao longo de canais fluviais naturais ou artificiais (Santos, 2009).

Note-se que toda a modelação hidráulica é realizada no *HEC-RAS*, no entanto, a utilização do *HEC-GeoRAS* permite, numa primeira fase, gerar a informação necessária à modelação de uma forma mais rápida, simples e amigável para o utilizador, e, posteriormente, espacializar os resultados obtidos. Este processo desenvolve-se em três etapas fundamentais: 1) preparação e geração dos dados de entrada; 2) modelação hidráulica; e 3) cartografia das áreas inundáveis.

¹⁷ À semelhança do *HEC-HMS*, o *HEC-RAS* foi desenvolvido pela USACE (*U.S. Army Corps of Engineers*).

A primeira etapa é realizada no *ArcMap*, com recurso à extensão *HEC-GeoRAS*. Depois de definida a área de estudo, que deverá ser sempre mais extensa do que a superfície ocupada pelos leitos de cheia, é necessário criar um modelo que represente o terreno da forma mais fidedigna possível. Normalmente, este modelo digital de terreno (MDT) é adquirido através do TIN (*Triangular Irregular Network*), obtido com recurso a curvas de nível e a pontos cotados, à semelhança do que foi utilizado para o modelo de susceptibilidade da bacia. Porém, quando se trata de modelação hidráulica, em vez de um MDT deve optar-se por um MDS (Modelo Digital de Superfície), uma vez que o MDT representa apenas o relevo e não considera outros elementos do território. Os mais relevantes são os edifícios, que para além de serem elementos potencialmente expostos, são determinantes no comportamento dos fluxos e na delimitação das áreas inundáveis. Como tal, foi realizado o levantamento e georreferenciação dos edifícios existentes na área de estudo através de ortofotomapas¹⁸, sendo estes posteriormente incluídos no modelo de elevação. Procedimento semelhante foi utilizado para os muros de contenção que existem em alguns sectores do canal fluvial, sendo essencial a sua inclusão no MDS devido à sua influência no escoamento e nas áreas inundáveis. A introdução destes dois tipos de elementos por parte do utilizador é fundamental, apesar de não isentar o MDS de erros. Por exemplo, no caso dos edifícios vectorizaram-se os polígonos referentes à área por eles ocupada, sendo que, foi também necessário adicionar uma curva de nível que os circunde na sua base. Contudo, a cota de base de um edifício pode não ser a mesma em toda a extensão desta infra-estrutura, o que pode gerar incorrecções no MDS e nos resultados finais da modelação hidráulica. Este género de incertezas do modelo poderia ser evitado ou minimizado se os edifícios e os muros estivessem representados nos dados de base.

Ao contrário do que sucede para a totalidade da bacia de Barcarena, a área em causa está integrada por completo no município de Oeiras e, por isso, foram utilizados apenas as curvas de nível e os pontos cotados cedidos por este concelho. Pode considerar-se esta como uma informação altimétrica detalhada, pois as curvas de nível têm uma equidistância de 2 m e uma escala (1:2000) bastante superior à escala mínima definida por Santos (2009) para efectuar a modelação hidráulica (1:10 000). Existe uma grande densidade de pontos cotados, capaz de complementar a informação fornecida pelas curvas de nível. Não obstante o número considerável de pontos cotados disponível, a sua localização nem sempre é a mais útil e correcta. Em diversas áreas, a densidade de pontos é maior onde as curvas de nível estão próximas do que onde estas estão mais espaçadas. Isto significa que a informação dada pelos pontos cotados é, por vezes, redundante e, noutros casos, deficitária.

A situação de défice mais notória ocorre ao longo dos canais fluviais, onde os pontos cotados não existem, o que se traduz na incorrecta representação da variação longitudinal da altitude, dado

¹⁸ Os ortofotomapas foram cedidos pela Câmara Municipal de Oeiras. Estes datam de 2012 e têm um tamanho de *pixel* de 10 cm.

que a única informação disponível para o leito dos canais é fornecida pelas curvas de nível. Neste caso, o modelo entende que entre as curvas de nível não existe variação longitudinal na elevação, resultando em fundos de vale planos e na ausência de uma representação adequada do talvegue. Como é natural, isto reflecte-se na qualidade do MDS e, consequentemente, na qualidade dos resultados da modelação hidráulica. Estas deficiências podem ser eliminadas pela elaboração do MDS através da ferramenta *Topo to Raster* do *ArcMap*, que é capaz de gerar um modelo “hidrológicamente correcto”, em vez do mesmo ser construído através do TIN. No entanto, o processamento executado pelo *HEC-GeoRAS* exige que o terreno seja modelado através de um TIN e não de um ficheiro *raster*. Para contornar este problema foi necessário recriar o leito dos canais fluviais através de um conjunto de pontos cotados extraídos a partir de um MDS auxiliar em estrutura *raster* (*Topo to Raster*). Isto permitiu considerar a variação transversal e longitudinal da altitude ao longo dos canais fluviais, não comprometendo a realidade, já que o MDS auxiliar foi executado com recurso às curvas de nível, aos pontos cotados, aos edifícios e à localização das linhas de água, possibilitando a coincidência espacial com os talvegues reais. Em síntese, o TIN que redundou no MDS final integra todos os elementos incluídos no MDS auxiliar, mais o conjunto de pontos dele resultante e que representam a configuração do leito dos canais fluviais. Todos estes procedimentos adicionais poderiam ser evitados a partir da informação pontual de grande pormenor gerada por levantamentos LiDAR. Ao contrário do que sucede nos restantes países europeus, esta informação não está disponível para a grande maioria do território português. Esta tecnologia possibilitaria também melhorias consideráveis na qualidade e detalhe dos resultados alcançados pela modelação hidráulica (Cook e Merwade, 2009).

Depois de definido o MDS da área de estudo foram gerados no *HEC-GeoRAS* as linhas de água (*stream centerline*), as margens (*bank lines*), os percursos dos fluxos (*flow path centerlines*) e as secções transversais (*XS cut lines*), de acordo com as indicações fornecidas em USACE (2009).

As linhas de água representam a posição dos talvegues e devem ser marcadas de montante para jusante. Estas podem ser compostas por um único trecho (*reach*) ou podem ser fragmentadas em vários trechos quando existem confluências com outras linhas de água modeladas. Por exemplo, a presença de uma confluência implica que o curso de água principal esteja repartido em dois trechos: o de montante e o de jusante. Ao longo das linhas de água devem estar sempre representadas as margens e cada trecho tem, obrigatoriamente, três percursos de fluxos: canal (coincidente com o trecho), esquerda e direita. Todos estes elementos são traçados pelo utilizador.

Quanto às secções transversais, podem ser geradas de forma automática pelo *HEC-GeoRAS* ou traçadas manualmente pelo utilizador. No primeiro caso, há que ter a noção que a sua representação nem sempre está correcta, sendo preciso assegurar que os perfis cruzem transversalmente as linhas de água (*stream centerlines*) e as curvas de nível. As secções transversais

devem ser traçadas da margem esquerda para a margem direita e devem interceptar as margens (*bank lines*) e as linhas que definem os percursos dos fluxos (*flow path centerlines*). Para os perfis foi estabelecida uma equidistância inicial de 10 metros, aos quais outros foram adicionados em função da existência de confluências ou estreitamentos naturais ou de origem antrópica.

As infra-estruturas ao longo dos fundos de vale, como pontes, açudes ou passagens hidráulicas, podem ser representadas através do *HEC-GeoRAS*, sendo marcadas pelo utilizador como se de secções transversais se tratassem. No sector estudado da bacia, as pontes localizadas ao longo dos cursos de água são pedonais e estreitas, enquanto os açudes existentes têm pouca capacidade para reter água, tendo pouca influência em situações de cheia. Portanto, optou-se por não os incluir na modelação hidráulica, ao contrário do que acontece com as passagens hidráulicas.

Outros dos elementos que podem ser considerados são as áreas de escoamento ineficaz, ou seja, onde a velocidade do escoamento é zero. Estas ocorrem, por norma, onde as planícies aluviais são largas e/ou onde existem estreitamentos no canal fluvial. Para a área de estudo, optou-se por não se considerar estas áreas porque: 1) os fundos de vale na área de estudo são relativamente estreitos; 2) as infra-estruturas causadoras de estreitamentos apresentam, na sua maioria, largura semelhante à do canal fluvial, ou seja, a sua influência para este efeito é reduzida; e 3) a delimitação das áreas de escoamento ineficaz pode ser algo arbitrária sem medições de velocidade dos fluxos.

Importa ainda referir que todas as linhas de água, secções transversais e infra-estruturas consideradas são cruzadas com o MDS, de modo a determinar o declive longitudinal dos cursos de água e a forma do canal fluvial e do vale em cada um dos perfis criados.

Num outro âmbito, há que introduzir os valores de rugosidade de Manning (Chow, 1959) ao longo das secções transversais criadas (tabela 8.4). Estes valores foram definidos a partir da COS 2010, à qual foram adicionados os canais fluviais principais existentes na área a modelar, dado que a rugosidade de um canal fluvial é distinta da de uma planície aluvial. Desta forma, os perfis interceptam as diferentes ocupações do solo, expressando as mudanças transversais da rugosidade das superfícies.

Tabela 8.4 Coeficientes de rugosidade de Manning atribuídos à ocupação do solo na bacia de Barcarena.

Ocupação do solo	Valores de rugosidade (Manning)
Áreas edificadas densas	0,01
Áreas edificadas descontínuas	0,02
Parques e jardins	0,04
Áreas agrícolas	0,04
Matos densos	0,07
Matos abertos ou incultos	0,05
Florestas abertas	0,07
Florestas densas	0,08
Canais fluviais naturais	0,04
Canais fluviais com muros de contenção	0,01

Terminada esta etapa, os resultados deste conjunto de procedimentos realizados em ambiente SIG foram exportados para o *HEC-RAS*, iniciando-se a segunda fase do processo de computação, ou seja, a modelação hidráulica. Os dados geométricos importados a partir do *ArcMap* devem ser verificados no *HEC-RAS*, confirmando se todo o processo anterior foi efectuado de forma correcta e se não existem erros associados. Depois desta verificação e de eventuais ajustes é ainda necessário definir quais as opções de processamento do programa e introduzir valores para diversos parâmetros referentes às infra-estruturas, confluências, caudais ou condições de fronteira relativas ao escoamento. As opções tomadas devem ser adaptadas à realidade da área de estudo, não sendo obrigatório que se considerem todos os elementos que o *HEC-RAS* é capaz de modelar. Por exemplo, nos troços em que se efectua a modelação podem não existir confluências ou infra-estruturas.

A escolha do tipo de regime de escoamento é essencial e acaba por condicionar as opções tomadas a vários níveis. O regime pode ser uniforme (*steady flow*) ou variável (*unsteady flow*). Enquanto o regime uniforme requer apenas a introdução dos caudais de ponta de cheia, o regime variável exige a utilização de um hidrograma de cheia, considerando a componente tempo. Tendo em conta que esta parte da investigação se destina à delimitação das áreas inundáveis em função dos diferentes períodos de retorno, considerou-se que o regime uniforme é o mais adequado neste contexto. Nesse caso, a computação do escoamento é executada entre uma determinada secção transversal e a secção a jusante, resolvendo a equação da conservação da energia (USACE, 2016).

Escolhido o regime uniforme, os caudais de ponta de cheia são introduzidos no início de cada trecho modelado, coincidindo com a sua secção transversal mais a montante. A partir daí, o programa encarregar-se-á de fazer a modelação hidráulica do escoamento para jusante. Podem ser inseridos um ou mais valores de caudal, dependendo dos objectivos do utilizador. Por exemplo, o objectivo pode passar apenas pela representação da cheia centenária ou, ao invés, pela delimitação das áreas inundáveis para vários períodos de retorno. Para a área de estudo foram introduzidos os caudais de ponta de cheia para 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, obtidos através da modelação hidrológica realizada no *HEC-HMS*.

No regime uniforme, o escoamento pode ser lento ou subcrítico (as condições de fronteiras são introduzidas a jusante), rápido ou supercrítico (as condições de fronteira são inseridas a montante) ou misto (são necessárias ambas as condições) (USACE, 2010). Optou-se pelo regime misto para que seja o *HEC-RAS* a seleccionar os perfis transversais onde ocorre cada um dos outros dois tipos de regime de escoamento (Santos, 2009; Lúcio, 2014). Sabe-se que há diversas situações em que existe a passagem do regime subcrítico para supercrítico e vice-versa, ocorrendo quando se verificam alterações significativas no declive do canal, estreitamentos ou confluências (USACE, 2016).

Na computação do transporte (*conveyance*) foi escolhida a opção que permite o transporte entre cada ponto das secções transversais, ao invés de este ser realizado apenas onde existem

mudanças no coeficiente de rugosidade de Manning (Santos, 2009). Neste contexto é ainda necessário definir as condições de fronteira, sendo utilizado o *Normal Depth Slope*, que constitui o declive da equação de perda de carga de Manning e que pode ser substituído pelo declive médio do canal (USACE, 2010). Ao recorrer a um regime misto de escoamento é necessário atribuir valores de declive a montante e a jusante de cada trecho, excepto quando existem confluências. Nesses casos a condição de fronteira a jusante é a própria confluência para os trechos a montante da mesma, tal como acontece com a condição de fronteira a montante da confluência para o trecho a jusante da mesma.

As confluências (*junctions*) representam as intercepções entre cursos de água. O *HEC-RAS* não as considera de forma automática, ou seja, é o utilizador que identifica a conexão entre o curso de água principal e um afluente. Optando por um regime uniforme, a modelação das confluências pode ser executada com recurso a dois métodos: energia ou momento. Ao contrário do primeiro, o método baseado na equação do momento necessita do ângulo de convergência do afluente cuja influência é, por norma, insignificante (USACE, 2016). Por isso, a escolha recaiu no primeiro método, que requer apenas a distância entre a secção transversal imediatamente a montante da confluência e a que está a jusante da mesma.

Os elementos que exigem mais trabalho por parte do utilizador no *HEC-RAS* são as infra-estruturas ao longo dos cursos de água, já que em ambiente SIG apenas se definem a forma e as características do canal onde estas se localizam. Há diversos parâmetros a introduzir no programa referentes aos seus atributos e efeitos no escoamento. Se a distância à secção transversal a montante é obtida através do *ArcMap*, outras características das infra-estruturas devem ser medidas no campo, como a largura ou as alturas do topo e da base. Quanto aos parâmetros hidráulicos, estes devem ser inseridos em função das especificidades das infra-estruturas e segundo as instruções fornecidas pelo manual do utilizador do *HEC-RAS*. A necessidade de informação a incluir no programa depende da infra-estrutura que se está considerar. No sector da bacia de Barcarena a estudar apenas foi modelada uma passagem hidráulica devido à sua relevância no escoamento, nas áreas inundáveis e na perigosidade às cheias rápidas. De facto, a sua introdução no modelo deu origem a resultados bastante diferentes dos obtidos se esta passagem hidráulica não fosse considerada, sendo que os seus efeitos se manifestam tanto a montante como a jusante da sua posição.

Executados todos estes procedimentos, procede-se à modelação hidráulica. Caso subsistam erros ou dados em falta nos passos anteriores, o *HEC-RAS* impede a computação, reportando as fontes de erros e o que deve ser corrigido. Depois das rectificações, se houver necessidade de as efectuar, o programa processa a modelação hidráulica. Mesmo que esta seja concluída com sucesso, o utilizador pode consultar a janela de avisos gerada pelo *HEC-RAS*, correspondentes a lacunas e incorrecções menos relevantes que não impedem a computação da modelação. Cabe ao utilizador

averiguar onde persistem os problemas e proceder a eventuais correcções de modo a aperfeiçoar o modelo.

Quando se conclui a modelação hidráulica, os resultados são, de novo, exportados para o *ArcMap*, iniciando-se a terceira e última fase do processo: a cartografia dos resultados. Recorrendo ao mesmo MDS utilizado durante a primeira fase, o *HEC-GeoRAS* permite delimitar as áreas inundáveis (em estrutura vectorial) associadas a diferentes caudais de ponta de cheia e períodos de retorno. É normal que os resultados finais não sejam os primeiros a serem gerados. Trata-se de um processo iterativo, de tentativa-erro, até se chegar aos resultados finais e que se estimam serem os mais próximos possíveis da realidade, tendo em consideração os dados de base. A maioria das correcções necessárias é efectuada no MDS, dado que uma pequena incorrecção ou representação deficiente do terreno tem implicações nas áreas inundáveis.

A validação dos resultados foi efectuada com recurso a: 1) trabalho de campo; 2) aluviões representadas no mapa geológico (34-C); 3) factos relatados em Torres (2018) aquando das cheias de Novembro de 1967; 4) fotografias de alguns locais durante o evento de 18 de Fevereiro de 2008 (CMO, 2011) e 5) testemunho de pessoas frequentemente afectadas pelas cheias no Lugar do Bico, em Tercena, localizado próximo da confluência entre as ribeiras de Barcarena e de Massamá.

Para além das áreas inundáveis, foram obtidas a altura da coluna de água e velocidade do escoamento (em estrutura *raster*) referentes aos vários períodos de retorno considerados. Relembre-se que o *HEC-RAS* é um programa que gera modelos hidráulicos 1D, em que a altura de água e a velocidade variam numa única direcção (longitudinal), e em que a velocidade é constante em qualquer ponto do canal fluvial (Díez-Herrero *et al.*, 2009). No entanto, o cruzamento entre os resultados obtidos no *HEC-RAS* e o MDS através do *HEC-GeoRAS* produz ficheiros matriciais 1D-2D para a altura de água e velocidade. A utilização do *HEC-GeoRAS* gera melhorias substanciais em comparação com os resultados 1D, pois é possível determinar a velocidade em cada ponto dos perfis transversais definidos, em vez de estimar apenas os valores médios para o canal fluvial e para as duas margens. Algo que também tem implicações nos resultados finais é a dimensão das células dos ficheiros *raster* produzidos. Para o troço em que foi efectuada a modelação hidráulica, optou-se por uma resolução de 10 cm (100 cm^2 ou $0,01\text{ m}^2$).

8.1.2.3. Obtenção do mapa de perigosidade

Como se disse no capítulo 6, a perigosidade resulta da intensidade ou magnitude e da recorrência de um determinado fenómeno perigoso. A perigosidade às cheias rápidas não se resume à espacialização dos resultados obtidos através da modelação hidráulica. Por outro lado, esta componente do risco não deve ser avaliada apenas pela altura da coluna de água, como muitas vezes

acontece. Considerou-se que a altura de água e a velocidade do escoamento são as variáveis que maior influência exercem nos danos causados por cheias rápidas e que, por isso, melhor avaliam a sua magnitude. Como tal, é necessário definir qual a melhor forma de as combinar.

A intensidade de um evento de cheia com uma determinada recorrência pode ser determinada pelo produto entre a altura de água e a velocidade ou através de uma matriz que considere estas duas variáveis. Diga-se que os dois métodos são válidos e utilizados em diversos trabalhos científicos, sendo ambos testados no troço modelado da bacia de Barcarena. A opção para a área de estudo acabou por recair na matriz de perigosidade. Esta metodologia é capaz de garantir uma maior aproximação à verdadeira magnitude de uma cheia, porque os danos dela resultantes podem advir de valores elevados de altura, de velocidade ou de ambos. Por exemplo, numa área em que as alturas de água não são consideráveis, mas em que se atingem velocidades elevadas, a perigosidade deve ser elevada. 50 cm e 60 cm de altura de água representam, mais ou menos, o nível dos joelhos de um indivíduo, mas foram identificados por Marco (1994) e Penning-Rowsell *et al.* (2005), respectivamente, como podendo colocar a vida de pessoas em risco. A matriz consegue salvaguardar essas situações, ao contrário da multiplicação entre a altura e a velocidade, que se estabelece uma relação “cega”, em que valores baixos de uma das variáveis podem desvirtuar o valor final da perigosidade num determinado local. É certo que se podem atribuir pesos distintos a estas variáveis, no entanto, muito dificilmente se comprovará qual delas é mais relevante neste âmbito e, por isso, a atribuição de ponderações pode ser pouco prudente.

Escolhido o método para estimar a intensidade/magnitude, há que determinar quais os valores de referência que constituem os limites das classes ou níveis de perigosidade às cheias rápidas no troço modelado da bacia de Barcarena. No fundo, estes representam os valores críticos em que a perigosidade se eleva a um grau superior e a partir dos quais as cheias rápidas, enquanto fenómeno natural com capacidade destruidora, são capazes de causar maiores consequências. Se a vulnerabilidade dos elementos expostos e as respectivas perdas estão dependentes da magnitude do fenómeno natural, também os valores críticos de altura de água e/ou velocidade devem ser definidos em função dos danos causados nos elementos expostos. Para a altura de água é frequente a referência a 0,5 m e 2 m como valores críticos (Smith, 1991; Zimmermann *et al.*, 2005; Merz *et al.*, 2007; Kreibich *et al.*, 2009). O valor de 0,5 m pode ser considerado uma referência para a estabilidade/instabilidade dos indivíduos (Smith, 1991; Marco, 1994), sobretudo quando a água adquire uma velocidade considerável, enquanto 2 m representam um valor crítico no que concerne aos danos em edifícios e infra-estruturas (Smith, 1991; Kreibich *et al.*, 2009). Quanto à velocidade do escoamento, 0,5 m/s para as pessoas (Marco, 1994) e 2 m/s para os edifícios (Smith, 1991; Kreibich *et al.*, 2009) podem representar os valores de referência.

Os valores de altura de água e de velocidade referidos no parágrafo anterior foram usados na matriz de perigosidade aplicada no troço modelado da bacia de Barcarena. Daqui resultaram nove combinações possíveis e a definição de três níveis de perigosidade: reduzida, moderada e elevada (figura 8.4 e tabela 8.5). A perigosidade foi obtida para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Todo o processo que permite chegar ao mapa final da perigosidade às cheias rápidas está sintetizado na figura 8.5.

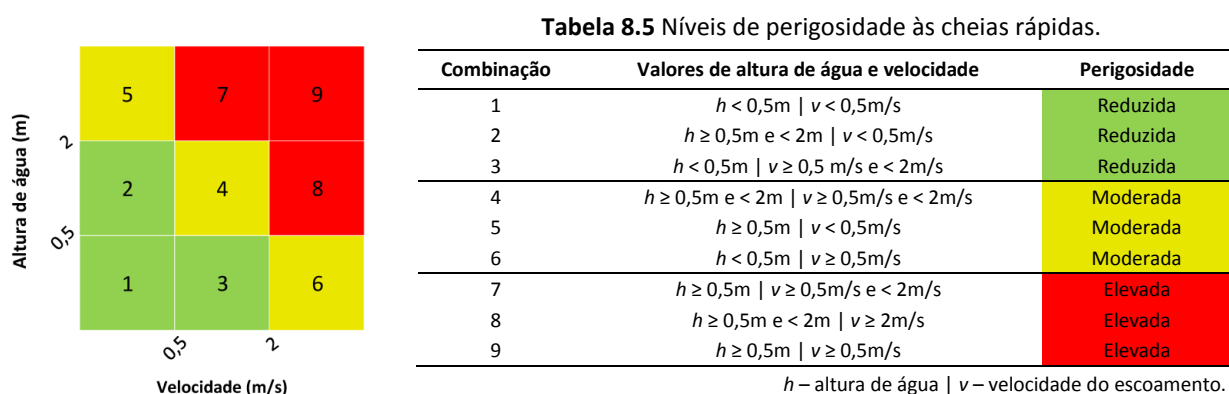


Figura 8.4 Matriz de perigosidade às cheias rápidas.

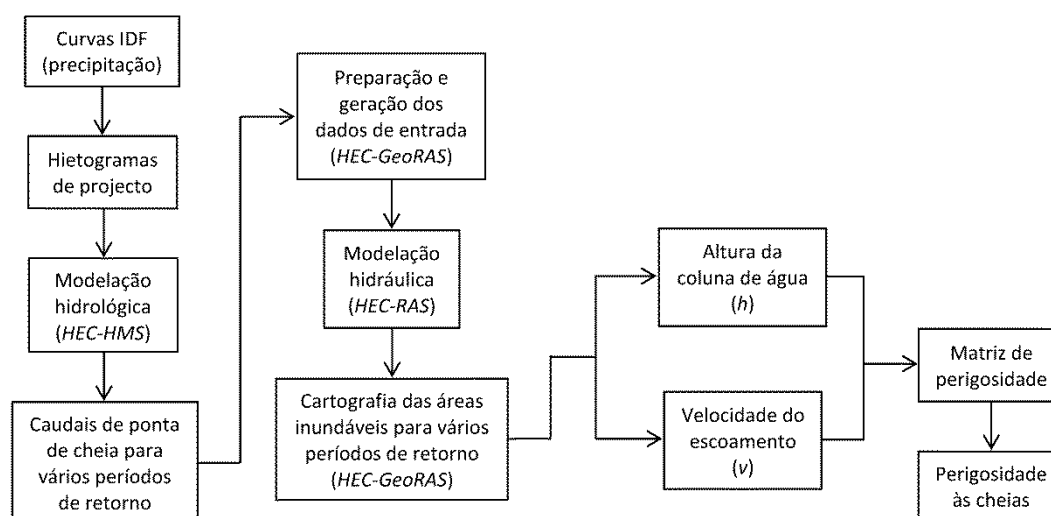


Figura 8.5 Processo de obtenção da perigosidade às cheias rápidas no troço modelado da bacia de Barcarena.

8.2. SUSCEPTIBILIDADE ÀS CHEIAS RÁPIDAS

A susceptibilidade é a componente menos complexa do risco, em que a recorrência de um determinado fenómeno perigoso não é considerada. Todavia, pode fornecer informações importantes quanto às áreas com maior propensão para serem afectadas por cheias.

A avaliação da susceptibilidade dos cursos de água às cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena considera quatro factores condicionantes: área de drenagem, permeabilidade, declive e

efeito da preia-mar. As 14 hipóteses testadas e as respectivas ponderações atribuídas aos factores condicionantes podem ser vistas na tabela 8.6.

A aplicação deste modelo em diversos contextos geográficos permite saber que a área acumulada é o principal factor condicionante, devendo ser-lhe atribuída a ponderação mais elevada (Santos e Reis, 2017). Os mesmos autores referem que o seu peso não deve ser inferior a 60% do total. De resto, confirma-se a importância da área de drenagem acumulada na explicação e validação das ocorrências registadas na bacia de Barcarena (27 no total). À medida que o peso deste factor diminui, as ocorrências explicadas também tendem a decrescer (tabela 8.6). A percentagem de ocorrências validadas pelo modelo cifrou-se quase sempre nos 89% (24 em 27 ocorrências) se forem atribuídas ponderações de 85/80%, descendo até um mínimo de 67% (17 em 27 ocorrências) com ponderações de 60% (tabela 8.6). O elevado peso atribuído à área acumulada acaba por reduzir a influência dos outros três factores nos resultados finais. A julgar apenas pela quantidade de ocorrências explicadas, qualquer das combinações em que a ponderação da área acumulada é igual ou superior a 80% poderia ser uma escolha correcta.

Tabela 8.6 Ocorrências de cheias por classe de susceptibilidade em função das diversas combinações e hipóteses testadas para a bacia de Barcarena.

Classes de susceptibilidade		Combinações de ponderações (A/P/D/M)*													
		85/5/5/5		80/10/5/5		80/5/10/5		70/20/5/5		65/25/5/5		60/20/10/10		60/30/5/5	
		L + OS	CN	L + OS	CN	L + OS	CN	L + OS	CN	L + OS	CN	L + OS	CN	L + OS	CN
1		6	4	6	6	6	6	6	6	5	6	1	1	2	4
2		1	1	1	1	1	1	6	6	5	6	1	1	2	4
3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
7		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Total	Nº	24	22	24	24	24	24	23	23	22	23	18	18	19	21
ocorr.	%	89	81	89	89	89	89	85	85	81	85	67	67	70	78
Valores excluídos		< 0,72	< 0,75	< 1,12	< 1,15	< 0,72	< 0,73	< 2,05	< 2,03	< 3,04	< 2,50	< 2,26	< 2,24	< 2,58	< 3,04

A = área de drenagem acumulada; P = permeabilidade média; D = declive médio; M = efeito da preia-mar; L = litologia; OS = ocupação do solo.

* Em algumas conjugações de ponderações foram definidas apenas 6 classes de susceptibilidade porque, à medida que a importância da área acumulada diminui, o valor mínimo considerado tende a aumentar e os agrupamentos de valores nos histogramas gerados tornam-se menos evidentes.

No que diz respeito à permeabilidade, os resultados alcançados através da litologia + ocupação do solo e do CN não revelaram diferenças significativas na maioria das combinações (tabela 8.6). Tal quer dizer que a escolha entre as duas opções não é algo que possa afectar de forma decisiva os resultados finais.

Um outro aspecto a salientar é o número de ocorrências incluídas nas diversas classes de susceptibilidade. Constata-se que os valores são sempre iguais a partir da classe 3,

independentemente das ponderações atribuídas. Ou seja, em todas as combinações a classe 3 inclui 1 ocorrência, a classe 4 inclui 4 ocorrências, a classe 5 inclui 5 ocorrências, a classe 6 inclui 5 ocorrências e a classe 7 inclui 2 ocorrências (tabela 8.6). Tal acontece porque, apesar das ponderações serem diferentes, as quebras existentes nos histogramas gerados são sempre evidentes, motivadas pela convergência das principais sub-bacias com o curso de água principal. Daqui resulta que os troços correspondentes a cada classe têm quase sempre a mesma extensão nas diversas combinações adoptadas, exceptuando nas classes de susceptibilidade mais baixa (1) e mais elevada (7). Na classe mais elevada, o seu limite montante pode variar em função da maior ou menor ponderação da área acumulada e do efeito da preia-mar. Paradoxalmente, a escolha da melhor combinação de ponderações parece depender da classe de susceptibilidade mais baixa e da sua capacidade de se ajustar às 9 ocorrências localizadas fora do curso de água principal (figura 8.6). Refira-se que as restantes 18 são explicadas por qualquer das combinações (tabela 8.6).

A definição do limiar mínimo de susceptibilidade é, portanto, fundamental. Em termos teóricos, é mais lógico que a classe de susceptibilidade mais baixa tenha poucas ocorrências. Contudo, no caso da bacia da Barcarena não faz sentido aumentar o limite mínimo para que a susceptibilidade se cinja ao curso de água principal, quando há diversas ocorrências situadas nas sub-bacias. Nesse caso, o modelo perderia capacidade preditiva. Por outro lado, é necessário encontrar um equilíbrio. Não interessa baixar muito o limite mínimo para ver todas as ocorrências validadas se, em contrapartida, há demasiados troços identificados como susceptíveis que não possuem características de predisposição à ocorrência de cheias e onde não existe histórico de ocorrências. Há ainda que admitir algum enviesamento no conjunto de ocorrências disponível, uma vez que se refere a situações em que alguém e/ou algo foi afectado por cheias, implicando sempre a existência de edificações. É importante que o modelo “capture” o máximo de ocorrências, mas sem comprometer a sua razoabilidade e correcção científica. Desta conjugação e compromisso resulta a melhor combinação de ponderações.

Das 14 hipóteses testadas existem cinco que permitem validar 89% das ocorrências. Uma vez que, tanto a quantidade de ocorrências validadas, como os locais de transição entre classes de susceptibilidade são os mesmos, é preciso recorrer ao critério visual e ao conhecimento da área de estudo para discernir a melhor das cinco combinações, tendo igualmente presentes as noções apresentadas no parágrafo anterior. Assim sendo, a hipótese que melhor representa a susceptibilidade às cheias na bacia de Barcarena corresponde à terceira coluna da tabela 8.6: 80A/10P/5D/5M¹⁹, com recurso à combinação litologia + ocupação do solo.

¹⁹ Área acumulada (80%), permeabilidade (10%), declive (5%) e efeito da preia-mar (5%).

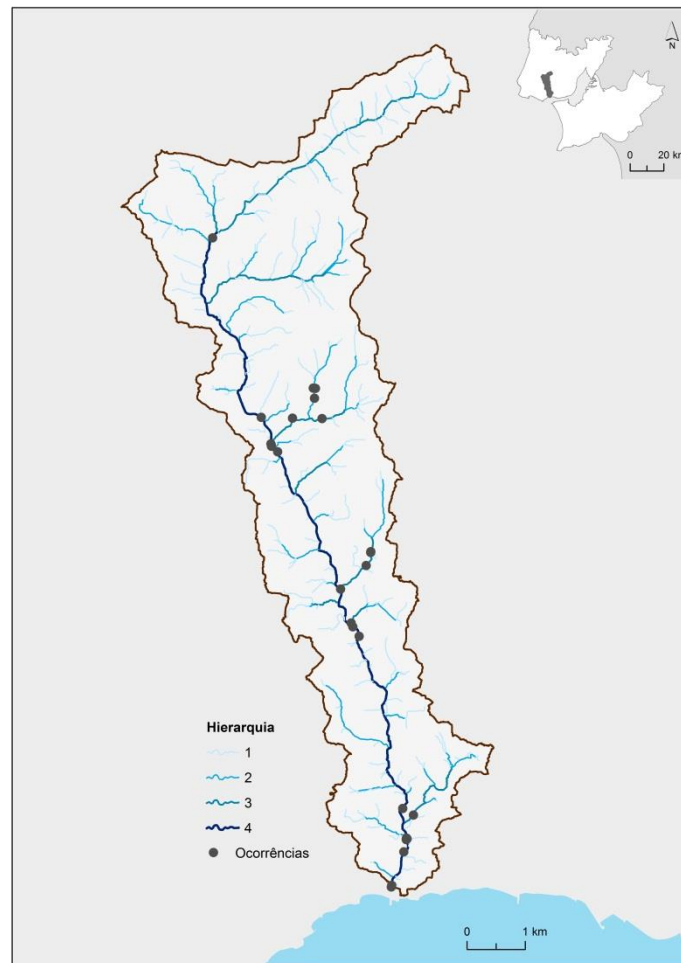


Figura 8.6 Localização das ocorrências registadas na bacia de Barcarena.

Definida a conjugação de elementos e ponderações, apresentam-se de seguida os resultados para a susceptibilidade das linhas de água. Foram definidas 7 classes de susceptibilidade com recurso ao histograma gerado (figura 8.7). Este número foi determinado em função das quebras verificadas no histograma que, tal como já tinha sido referido, coincidem com os locais em que os cursos de água das principais sub-bacias confluem com a ribeira de Barcarena (figura 8.8). Em comparação ao efectuado em outros trabalhos (Reis, 2011 ou Santos e Reis, 2017), foi adicionada mais uma classe de susceptibilidade. Tal prende-se com a introdução do efeito da preia-mar no modelo, que motiva a diferenciação do curto troço jusante do curso de água, identificando-o como o mais susceptível às cheias rápidas (figuras 8.7 e 8.8).

Os valores de susceptibilidade considerados variam entre 1,12 e 9,33. O limiar inferior permite excluir do modelo os interflúvios, as vertentes e os troços/linhas de água com menor expressão. As características, as ocorrências e os danos humanos e materiais em cada classe de susceptibilidade estão sintetizados na tabela 8.7.

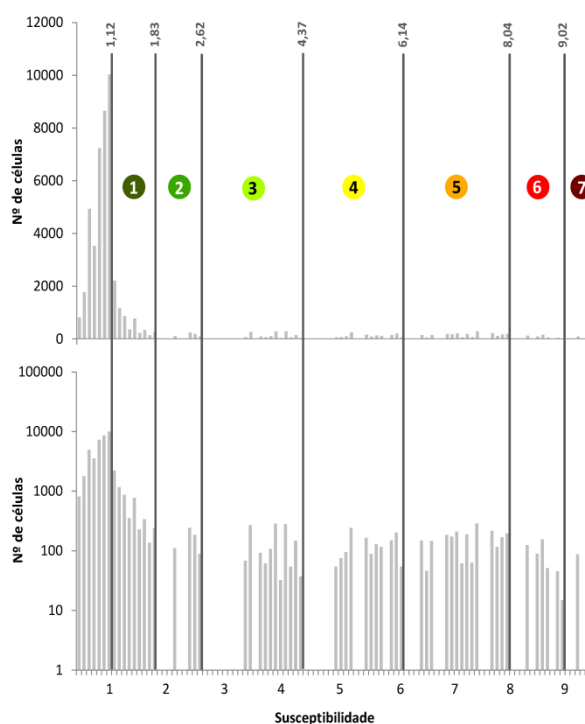


Figura 8.7 Histogramas dos valores de susceptibilidade às cheias para as linhas de água da bacia de Barcarena e respectiva classificação.

Nota: em cima o número de células está representado na escala normal e em baixo na escala logarítmica, para uma melhor visualização.

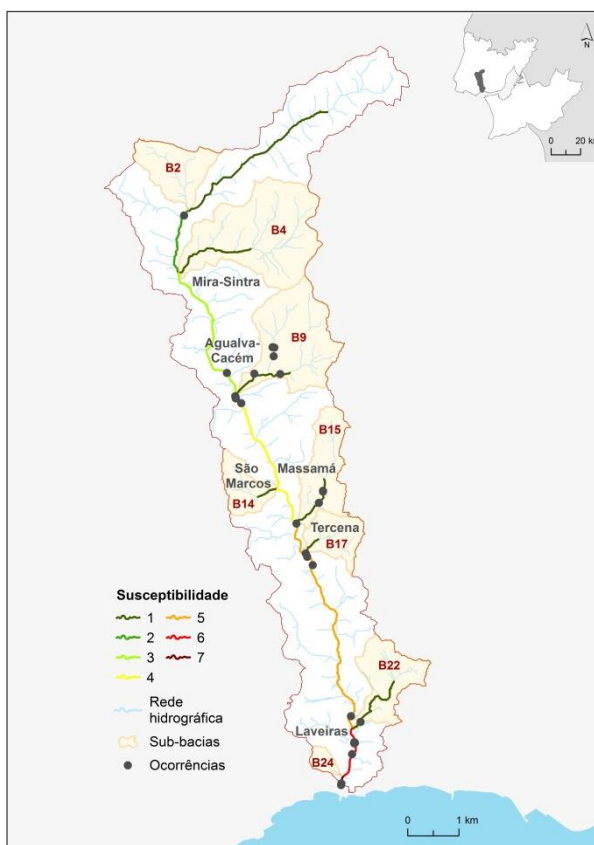


Figura 8.8 Susceptibilidade às cheias das linhas de água na bacia de Barcarena.

Tabela 8.7 Classes de susceptibilidade às cheias na bacia de Barcarena.

Classes de susceptibilidade	Limites das classes	Comprimento dos cursos de água (km)	Ocorrências		Mortes		Evacuados		Desalojados		Indemnizações	
			Nº	Nº/km	Nº	Nº/km	Nº	Nº/km	Nº	Nº/km	€	€/km
n.a	< 1,12	90,0	3	0,03	0	0	0	0	0	0	258	2,87
1	1,12 - 1,83	11,1	6	0,5	0	0	11	1,0	0	0	400	36,12
2	1,84 - 2,62	1,4	1	0,7	0	0	0	0	0	0	1700	1183,92
3	2,63 - 4,37	3,4	1	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	4,38 - 6,14	3,2	4	1,2	2	0,6	13	4,0	0	0	0	0
5	6,15 - 8,04	5,2	5	1,0	3	0,6	3	0,6	5	1,0	448	86,07
6	8,05 - 9,02	1,1	5	4,5	4	3,6	5	4,5	30	27,0	0	0
7	9,03 - 9,33	0,2	2	10,7	0	0	11	58,7	0	0	0	0
Total classes	-	25,6	23	0,9	9	0,4	43	1,7	33	1,3	2548	99,51
Total	-	112,8	26	0,2	9	0,1	43	0,4	33	0,3	2806	24,88

n.a. - não aplicável.

Na classe de susceptibilidade mais baixa (1) os valores variam entre 1,12 e 1,83, sendo a classe que contém uma maior extensão territorial: 11,1 km. É a única classe não contínua no espaço, pois contempla o primeiro troço (a montante) considerado do curso de água principal e seis troços de afluentes correspondentes às sub-bacias B4, B9, B14, B15, B17 e B22 (figura 8.8). Como já foi dito, esta classe é a que permite a validação das ocorrências situadas fora do curso de água principal. Seis dessas nove ocorrências foram validadas por esta classe, o que significa que foi nos troços correspondentes à classe 1 de susceptibilidade que se verificou o maior número de ocorrências

(tabela 8.7). Tratando-se da classe de menor susceptibilidade este facto parece incoerente, no entanto, há alguns aspectos a considerar. Sendo a classe com maior extensão, a ponderação do número de ocorrências pelo comprimento dos cursos de água faz baixar o valor para um patamar perfeitamente admissível (0,5), passando a ser a segunda classe com menos ocorrências por km (tabela 8.7). Por outro lado, as consequências das cheias que afectaram esses locais não são muito significativas. Registaram-se apenas evacuados (talvez o menos grave dos danos humanos, já que houve tempo para socorrer e salvar os afectados) e danos materiais (em média, 67€ por sinistro).

A classe 2 tem uma extensão de 1,4 km, compreendida, sensivelmente, entre a localidade de Recoveiro e a estação ferroviária de Mira Sintra-Meleças. Estes locais coincidem com as confluências das sub-bacias B2 (a montante) e B4 (a jusante) com o curso de água principal (figura 8.8). Os valores de susceptibilidade desta classe variam entre 1,84 e 2,62, contemplando uma ocorrência com danos materiais: 1700 € (tabela 8.7).

A classe 3 apresenta valores de susceptibilidade compreendidos entre 2,63 e 4,37 (tabela 8.7). Esta apresenta um comprimento de 3,4 km entre as desembocaduras das sub-bacias B4 e B9, localizada em Agualva-Cacém (figura 8.8). Registou apenas uma ocorrência, sendo a classe que possui o menor dos valores ponderados: 0,3 ocorrências/km (tabela 8.7). Acrescente-se ainda que essa ocorrência consta na base de dados da APS, mas não houve lugar ao pagamento de qualquer indemnização.

Pode dizer-se que é com o início da classe 4 que a ribeira de Barcarena assume um carácter mais susceptível às cheias e isso é, sobretudo, notório a jusante das confluências principais. Esta classe possui valores de susceptibilidade entre 4,38 e 6,14, ao longo de uma extensão de 3,2 km (tabela 8.7). Este troço do curso de água principal inicia-se em Agualva-Cacém (B9) e termina na desembocadura da sub-bacia B15 (ribeira de Massamá), localizada a Oeste de Tercena (figura 8.8). As quatro ocorrências registadas (1,2 por km) em 1937 e 1967 verificaram-se logo no início do troço devido à desembocadura do afluente proveniente de Agualva-Cacém (B9), na margem esquerda da ribeira de Barcarena (figura 8.8). Dessas quatro ocorrências resultaram duas mortes e 13 evacuados (tabela 8.7). Refira-se que o sector foi intervencionado em 2008 ao abrigo do Programa Pólis, fazendo baixar a sua susceptibilidade às cheias, algo que o modelo implementado não permite aferir, já que as medidas estruturais não são contempladas pelo mesmo.

A classe 5 de susceptibilidade está presente entre as confluências das sub-bacias B15 e B22, imediatamente a norte da localidade de Laveiras (figura 8.8). Ao longo de uma extensão de 5,2 km os valores de susceptibilidade variam entre 6,15 e 8,04 (tabela 8.7). Nesse troço registaram-se 5 ocorrências (cerca de uma por km), 3 mortes, 3 evacuados, 5 desalojados e 448 € em indemnizações (tabela 8.7). 3 das 5 ocorrências verificaram-se junto à antiga Fábrica da Pólvora, junto à desembocadura do curso de água proveniente de Tercena (B17) (figura 8.8). No que diz respeito às

restantes ocorrências, uma delas sucedeu na confluência da sub-bacia 15 com a ribeira de Barcarena e a outra ocorreu entre as localidades de Murganhal e Laveiras.

Os valores de susceptibilidade compreendidos entre 8,05 e 9,02 compõem a classe 6, cuja extensão é de 1,1 km, a segunda classe menos extensa (tabela 8.7). O troço entre as confluências das sub-bacias B22 e B24 (figura 8.8) configura a segunda classe com maior susceptibilidade. Aí verificaram-se 5 ocorrências (4,5 por km), todas na localidade de Laveiras, da qual resultaram 4 mortes, 5 evacuados e 30 desalojados (tabela 8.7).

A classe 7 é a que possui maior susceptibilidade às cheias. Para este troço correspondente aos últimos 200 metros da ribeira de Barcarena, foram obtidos valores entre 9,03 e 9,33 (tabela 8.7). Aqui inserem-se duas ocorrências (10,7 por km), onde se registaram 11 evacuados.

São 3 as ocorrências que não foram incluídas em nenhuma das classes de susceptibilidade e que, por isso, não foram validadas pelo modelo. Ambas ocorreram na sub-bacia 9 (figura 8.8), causando apenas danos materiais: 258 € em indemnizações (tabela 8.7). Estas ocorrências são as únicas registadas numa linha de água de hierarquia 2 (figura 8.6). O número de células acumuladas é relativamente baixo e, por isso, o troço em que se localizam as três ocorrências não é considerado susceptível pelo modelo implementado. Assim, o registo de ocorrências nesse troço é explicado pela localização de alguns edifícios junto a um canal fluvial repleto de caniços e onde existe uma passagem hidráulica. Estes factos contribuem para a diminuição da capacidade de vazão naquele local e para a subida do nível da água quando ocorrem precipitações intensas.

Na totalidade, as sete classes de susceptibilidade apresentam uma extensão de 25,6 km (23% do total dos cursos de água da bacia), ao longo da qual se contabilizaram 24 ocorrências (89% do total). Todos os danos humanos associados a cheias rápidas ocorreram nesses troços, assim como grande parte dos danos materiais. Eventualmente, o elevado número absoluto de ocorrências registadas nos troços classificados com o grau de susceptibilidade mais baixo (classe 1) pode distorcer um pouco a coerência dos resultados. Contudo, é expectável que isso suceda numa bacia hidrográfica com elevadas taxas de impermeabilização e de ocupação humana, como a de Barcarena. A explicação prende-se com a localização escolhida pelas actividades e infra-estruturas para se instalarem. À partida não são os troços mais susceptíveis que são ocupados, mas sim os que possuem susceptibilidades baixas ou média, surgindo consequentemente aí as ocorrências. No entanto, como se viu, os danos mais graves provocados por cheias rápidas na bacia de Barcarena ocorreram nos sectores identificados como mais susceptíveis, confirmando a validade do modelo apresentado.

8.3. PERIGOSIDADE ÀS CHEIAS RÁPIDAS

8.3.1. Caudais de ponta e hidrogramas de cheia

O intuito principal da modelação hidrológica nesta dissertação passava por determinar o *input* (caudais) do modelo hidráulico. Todavia, interessava também compreender a repercussão que alterações na precipitação e nas condições antecedentes de humidade têm nos caudais. Para além disso, importava avaliar o comportamento hidrológico dos diferentes sectores da bacia de Barcarena, de modo a determinar as principais áreas contributivas para o escoamento.

8.3.1.1. Precipitações e hietogramas de projecto

Na bacia hidrográfica de Barcarena a obtenção dos caudais de ponta e dos hidrogramas de cheia para diferentes períodos de retorno só é possível com recurso à precipitação, face à ausência de dados hidrométricos. Para tal, há que saber, numa primeira fase, quais os quantitativos estimados para cada período de retorno e para uma duração igual à do tempo de concentração da bacia de Barcarena (6h20). Através dos parâmetros utilizados na construção das curvas IDF (figura 2.12) da estação meteorológica de SJT (Brandão *et al.*, 2001), foram alcançados os valores apresentados na tabela 8.8.

Tabela 8.8 Valores de precipitação estimados para diferentes períodos de retorno e para uma duração igual à do tempo de concentração da bacia de Barcarena.

Período de retorno	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
Precipitação (mm)	36,7	58,8	73,4	87,6	105,5	119,6

Foram 12 os hietogramas de projecto desenvolvidos para inserção no *HEC-HMS*. Para cada período de retorno considerado (2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos), foram criados hietogramas com duração igual (figura 8.9a) e dupla (figura 8.9b) em relação ao tempo de concentração da bacia de Barcarena. Os exemplos de hietogramas presentes na figura 8.9 reportam-se ao período de retorno de 100 anos²⁰. Em virtude do padrão de distribuição utilizado (blocos alternados), o pico da precipitação ocorre às 3h10 nos hietogramas com duração igual à do tempo de concentração e às 6h20 no hietograma com duração dupla.

²⁰ Os anexos 2 e 3 apresentam os valores de precipitação com os quais foram construídos os hietogramas de projecto para os vários períodos de retorno.

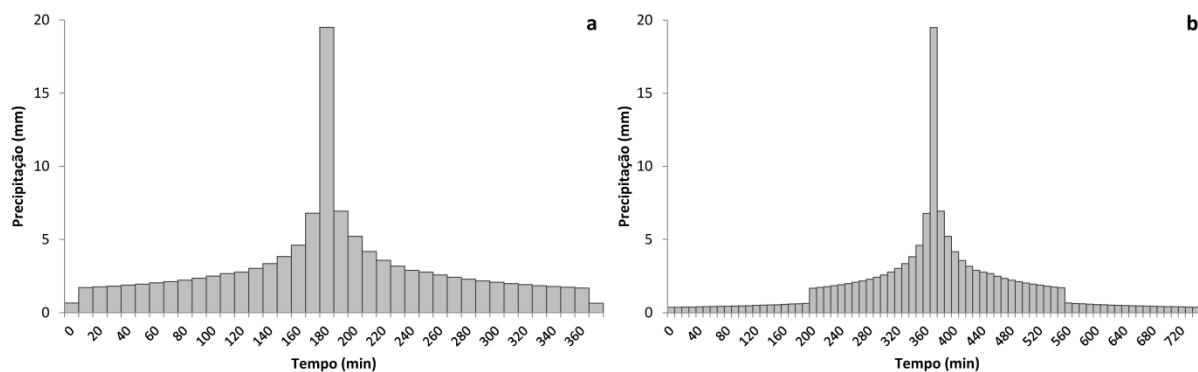


Figura 8.9 Hietogramas de projecto para um período de retorno de 100 anos com duração igual **(a)** e dupla **(b)** em relação ao tempo de concentração da bacia de Barcarena.

8.3.1.2. Influência da duração da precipitação e da humidade no solo

Os primeiros resultados decorrentes da aplicação do modelo hidrológico implementado no *HEC-HMS* foram obtidos para a totalidade da bacia de Barcarena, ou seja, referem-se aos caudais estimados para a sua desembocadura. Em primeiro lugar, importava avaliar quais as diferenças nos caudais de ponta de cheia quando a precipitação de projecto tem durações distintas, mas sempre contemplando todo o tempo de concentração, para que toda a bacia esteja a contribuir para o escoamento na sua desembocadura. Na verdade, os caudais de ponta não diferem de forma significativa se a duração da precipitação de projecto for igual ou dupla em relação ao tempo de concentração. Verifica-se apenas um distanciamento muito ligeiro entre as duas curvas à medida que o período de retorno aumenta (figura 8.10a). Apesar da quantidade total de precipitação ser superior, o pequeno acréscimo nos caudais resultante de hietogramas com duração dupla deve-se à introdução de blocos de baixa intensidade no início e no final dos hietogramas (figura 8.9b).

Assim, uma precipitação de projecto com duração duas vezes superior à do tempo de concentração pode ser capaz de gerar caudais de ponta de cheia um pouco mais elevados, mas, numa bacia de dimensão reduzida como a de Barcarena, o factor tempo pode ser mais importante. Quando o objectivo é o dimensionamento de infra-estruturas e/ou a implementação de medidas estruturais num curso de água, podem ser utilizados como referência os caudais mais elevados, e esses são dados pelos hietogramas com duração dupla. No entanto, quando se procura definir planos e estratégias de emergência face a situações de cheias rápidas, devem ser tidos em conta os hidrogramas resultantes de precipitações de projecto com duração igual à do tempo de concentração. Nestes casos, os picos de precipitação e de caudal ocorrem bastante mais cedo, como se verá adiante, o que se repercute no menor tempo para o alerta e/ou o socorro às populações afectadas por uma cheia rápida. Uma vez que as diferenças não são substanciais entre as duas durações, decidiu-se adoptar apenas os caudais que resultaram de hietogramas com duração igual à

do tempo de concentração da bacia, seguindo a recomendação de diversos autores como Chow *et al.* (1988), Viessman e Lewis (1996) ou Portela *et al.* (2000).

A outra componente cujo efeito nos caudais de ponta de cheia vale a pena aferir é a humidade no solo. Comprovou-se que as diferenças entre um cenário com condições de humidade médias (AMC II) e outro em que o solo está quase saturado (AMC III) são mais relevantes (figura 8.10b), mesmo numa bacia hidrográfica com uma forte impermeabilização antrópica. A escolha de AMC III é a mais adequada, pois a majoração imposta pela menor capacidade de infiltração nos caudais de ponta de cheia varia entre 28,02 m³/s para o período de retorno de 2 anos e 49,27 m³/s para uma recorrência de 100 anos (figura 8.10b). Para se ter a noção do quão importantes são as condições de humidade do solo basta referir que os caudais de ponta estimados para AMC II são sempre mais baixos do que os do período de retorno anterior com AMC III. Por exemplo: o caudal para 100 anos com AMC II é cerca de 16 m³/s menor do que o caudal para 50 anos com AMC III.

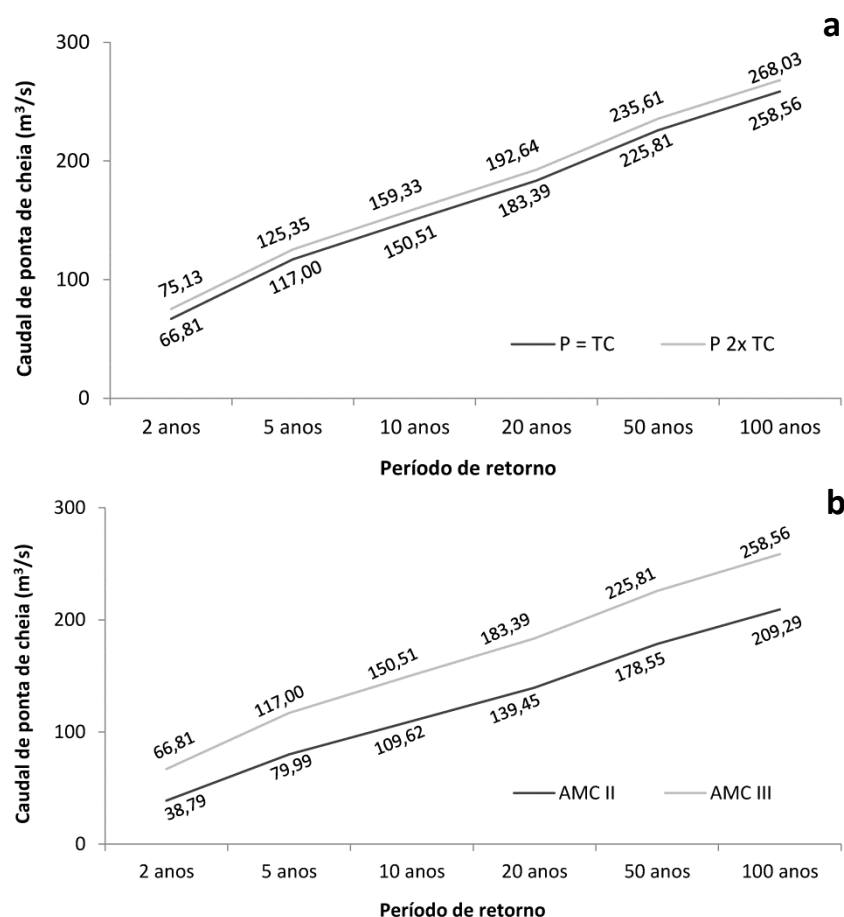


Figura 8.10 Caudais de ponta de cheia para diferentes períodos de retorno obtidos para a bacia de Barcarena a partir de hietogramas de projecto com duração igual e dupla em relação ao tempo de concentração **(a)** e em situações de AMC II e AMC III **(b)**.

Ainda no que respeita aos caudais de ponta de cheia, compararam-se os resultados obtidos através do *HEC-HMS* e dos métodos cinemáticos (métodos Racional e do SCS) e não cinemáticos (Portela e Dias) (figura 8.11 e tabela 8.9). A disparidade entre os valores estimados por um modelo hidrológico e os calculados através de métodos empíricos demonstra a incapacidade dos últimos para se aproximarem dos reais caudais de ponta, pelo menos numa bacia como a de Barcarena. Mesmo considerando a ocupação do solo, os métodos Racional e do SCS não se mostram capazes de traduzir a complexidade do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica. Confrontando os caudais estimados pelo *HEC-HMS* e o método cujos resultados mais se aproximam, verifica-se que as diferenças se cifram em 37,39 m³/s para 2 anos e em 161,88 m³/s para 100 anos (tabela 8.9). Com excepção do método de Portela e Dias, os cálculos foram realizados com valores de precipitação com duração igual à do tempo de concentração da bacia.

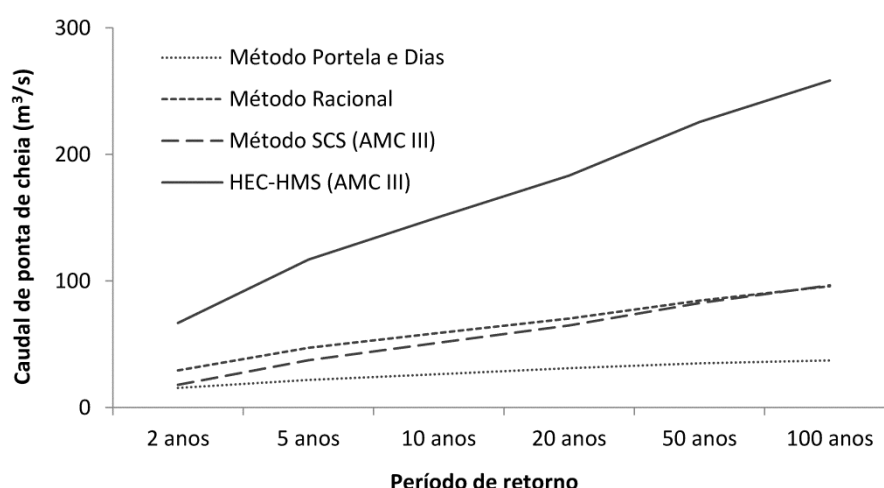


Figura 8.11 Caudais de ponta de cheia na desembocadura da bacia de Barcarena para diversos períodos de retorno com recurso a métodos empíricos e ao *HEC-HMS*.

Tabela 8.9 Caudais de ponta de cheia na desembocadura da bacia de Barcarena para diversos períodos de retorno com recurso a métodos empíricos e ao *HEC-HMS*.

Período de retorno	Caudal de ponta de cheia (m ³ /s)			
	Portela e Dias	Método Racional	SCS (AMC III)	HEC-HMS (AMC III)
2 anos	15,56	29,42	18,00	66,81
5 anos	21,78	47,18	37,50	117,00
10 anos	26,45	58,94	51,28	150,51
20 anos	31,11	70,34	65,01	183,39
50 anos	35,00	84,65	82,56	225,81
100 anos	37,34	96,03	96,68	258,56

Pode sempre levantar-se a questão sobre a validade dos resultados alcançados, até pela margem de diferença face aos métodos empíricos. Por isso, houve a preocupação de comparar os caudais de ponta de cheia obtidos para a desembocadura da bacia de Barcarena com os apresentados em outras publicações (tabela 8.10). Todos os resultados são bastante superiores aos fornecidos pelos métodos cinemáticos (tabela 8.9), o que confirma a inadequabilidade destes neste contexto. Também os valores presentes em LNEC (1984) e em Antunes e Coutinho (2011) são menores quando comparados com os do *HEC-HMS*. No primeiro caso, as diferenças podem denotar as modificações na ocupação do solo verificadas nas últimas décadas, já que há mais de 30 anos a separar o estudo do LNEC e esta dissertação. É sabido que, à medida que o edificado se expande, a impermeabilização também aumenta, o que se traduz em incrementos no volume e na velocidade do escoamento, logo em caudais de ponta de cheia mais elevados. No segundo caso, as diferenças podem ser explicadas pela forma de obtenção dos caudais utilizada por Antunes e Coutinho (2011): curva de duração dos caudais para uma estação hidrométrica com poucos registos. Resta ainda referir que os caudais utilizados nesta dissertação são próximos dos que constam em CMO (2011), também obtidos com recurso ao *HEC-HMS*.

Tabela 8.10 Comparação entre os caudais de ponta de cheia obtidos (*HEC-HMS*) na desembocadura da bacia de Barcarena para diversos períodos de retorno e os apresentados em outras publicações.

Período de retorno	LNEC (1984)	Antunes e Coutinho (2011) ⁽¹⁾	CMO (2011) ⁽²⁾	<i>HEC-HMS</i>
2 anos	-	-	-	75,13
5 anos	67	-	-	125,35
10 anos	95	135	-	159,33
20 anos	136 ⁽³⁾	-	178,5	192,64
50 anos	158	180	221,3	235,61
100 anos	185	200	253,7	268,03

¹ Os valores foram obtidos para a estação hidrométrica de Laveiras, cuja área drenada corresponde a 97% do total da bacia.

² Os valores resultam de hietogramas com duração dupla em relação ao tempo de concentração da bacia e para AMC III.

³ O caudal corresponde a um período de retorno de 25 anos.

Para além da determinação dos caudais de ponta é igualmente importante a representação dos hidrogramas de cheia estimados para os diversos períodos de retorno na desembocadura da bacia (figura 8.12a). A forma dos hidrogramas traçados para a bacia de Barcarena é típica de uma área urbanizada, com um pico muito acentuado, em que o caudal sobe e desce de modo abrupto. O pico do caudal é tanto mais acentuado quanto maior for o período de retorno. Diga-se que os hidrogramas computados iniciam-se com escoamento nulo, apesar de isso não se verificar porque a ribeira de Barcarena raramente seca ao longo do seu percurso e porque o efeito da maré se manifesta no seu sector terminal. Todavia, o nível da água é baixo durante a maior parte do ano, ou seja, o acréscimo no hidrograma de cheia seria muito pouco relevante.

Os efeitos da duração da precipitação e das condições de humidade nos hidrogramas de projecto estão retratados na figura 8.12b. Constatase que o pico do caudal ocorre bastante mais tarde se for aplicado um hietograma com duração dupla em relação ao tempo de concentração da bacia. A diferença temporal entre os caudais de ponta de cheia é de 3 horas e 9 minutos (figura 8.12b), algo compreensível já que o pico da precipitação também acontece 3h10 depois. É igualmente notória a repercussão nos hidrogramas da utilização de AMC III em detrimento de AMC II (figura 8.12b). Não só os caudais de ponta de cheia são mais elevados, como a água chega mais rapidamente à desembocadura devido à redução da infiltração e ao consequente aumento do escoamento superficial. Isto sugere que os caudais não nulos ocorrem durante mais tempo em situações de AMC III, pois começam a surgir mais cedo (início do hidrograma) e deixam de existir mais tarde (final do hidrograma). Tudo isto se reflecte no volume total do escoamento na desembocadura, cujo acréscimo de AMC III em relação a AMC II para o período de retorno de 100 anos foi estimado em 777,5 dam³.

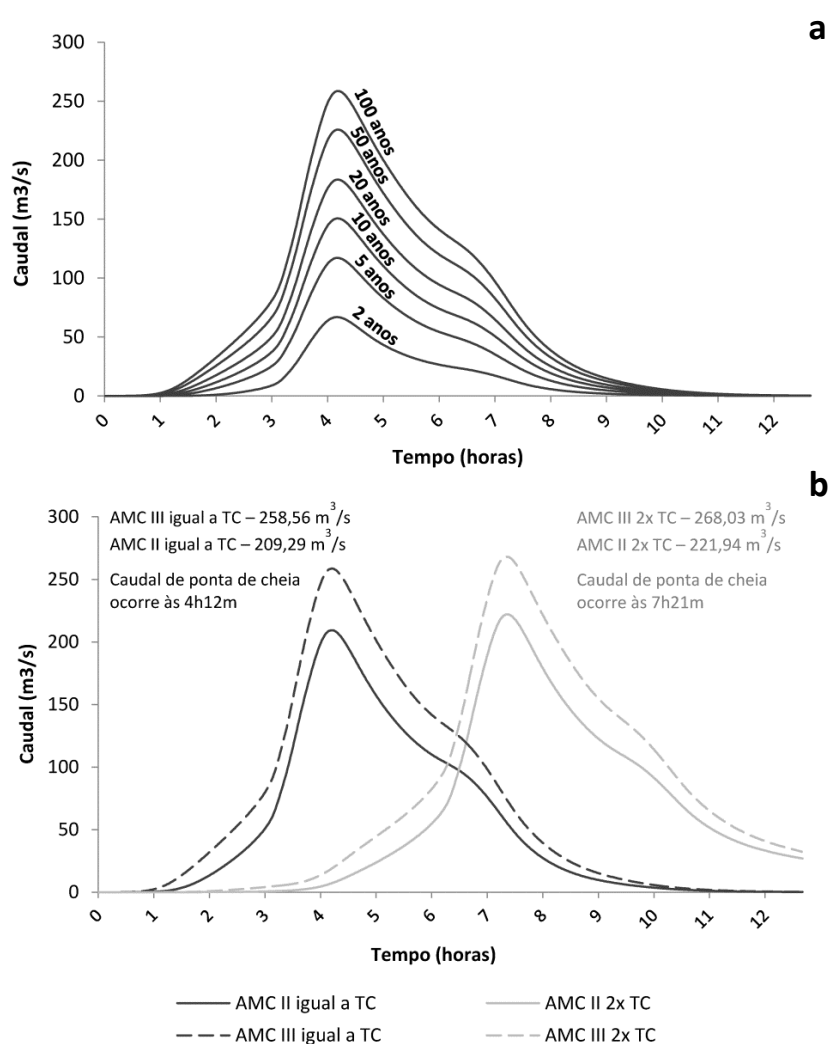


Figura 8.12 Hidrogramas de cheia na desembocadura da bacia de Barcarena para vários períodos de retorno **(a)** e para 100 anos com duração igual e dupla do tempo de concentração e AMC II e III **(b)**.

8.3.1.3. Peso das sub-bacias e sectores críticos na bacia de Barcarena

Vistos os valores máximos estimados e o comportamento temporal da bacia de Barcarena quando ocorrem episódios de precipitação com determinada magnitude, segue-se a análise espacial. Se a forma dos hidrogramas apresentados (figura 8.12) resulta principalmente das precipitações de projecto e do grau de impermeabilização da bacia, há também que considerar a localização (figura 8.13), as características das sub-bacias (tabela 8.11) e a presença de confluências (tabela 8.12). Note-se que a área conjunta das 24 sub-bacias é de 25 km² (73% do total), sendo que a restante superfície da bacia de Barcarena é ocupada por áreas de transição.

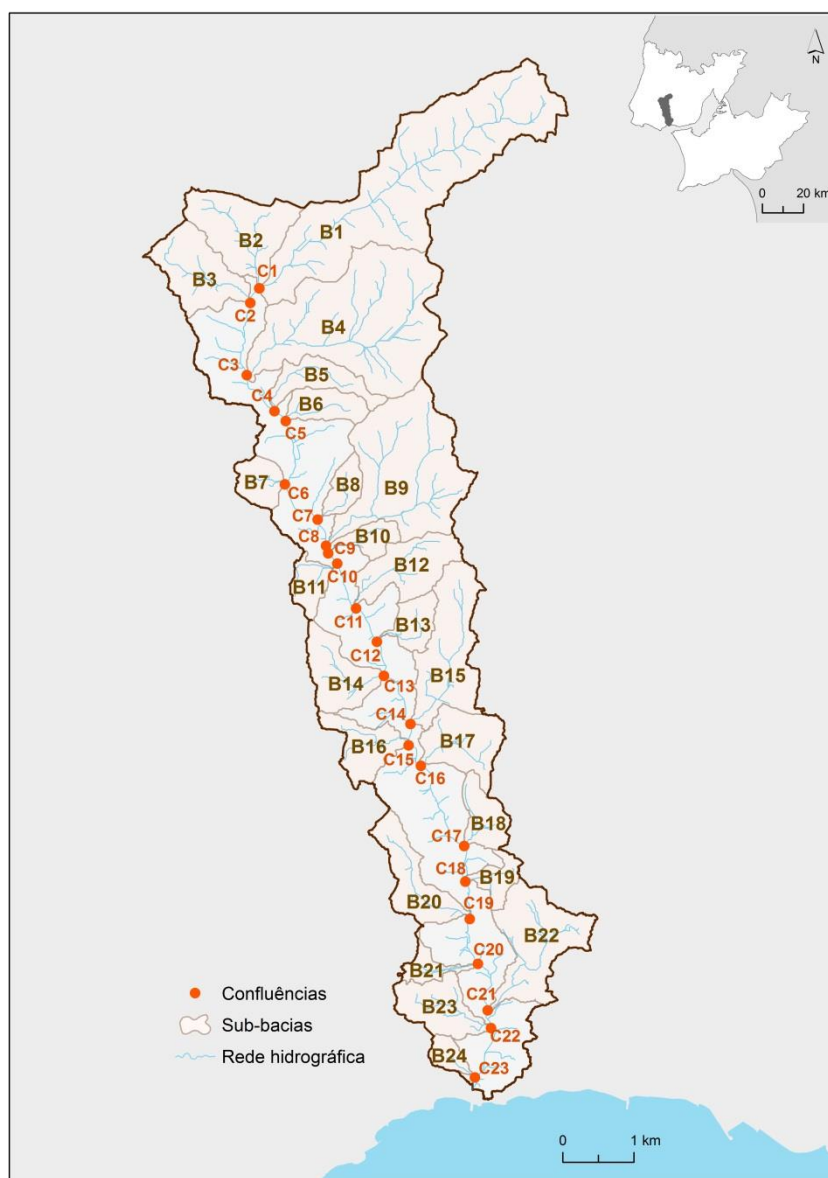


Figura 8.13 Confluências e sub-bacias da bacia de Barcarena.

Tabela 8.11 Características e caudais obtidos nas sub-bacias da bacia hidrográfica de Barcarena.

Sub-bacia	Área		CN		Tempo de concentração (h:min)	Tempo de resposta (h:min)	Caudal de ponta de cheia (m³/s)
	km²	%	AMC II	AMC III			
B1	4,8	14,1	60,3	77,8	2:14	1:20	25,61
B2	1,3	3,7	68,2	83,2	0:58	0:35	12,40
B3	1,0	3,0	74,4	87,0	1:01	0:37	10,94
B4	3,7	10,8	67,5	82,7	1:27	0:52	29,26
B5	0,6	1,6	86,2	93,4	0:52	0:31	7,63
B6	0,5	1,3	85,1	92,9	0:35	0:21	7,25
B7	0,4	1,1	68,0	83,0	0:22	0:13	5,99
B8	0,3	0,9	93,9	97,2	0:31	0:19	5,57
B9	2,7	7,9	80,4	90,4	1:04	0:38	30,98
B10	0,3	0,9	90,8	95,8	0:32	0:19	5,31
B11	0,3	1,0	92,5	96,6	0:33	0:20	5,76
B12	0,9	2,7	83,9	92,3	0:47	0:28	12,71
B13	0,4	1,1	86,4	93,6	0:33	0:20	6,51
B14	0,8	2,2	90,2	95,5	0:36	0:22	12,71
B15	1,5	4,3	94,0	97,3	1:04	0:38	19,14
B16	0,6	1,8	84,8	92,8	0:37	0:22	9,61
B17	0,9	2,6	88,9	94,9	0:46	0:28	12,90
B18	0,5	1,4	85,1	92,9	0:20	0:12	9,63
B19	0,3	0,9	82,7	91,7	0:27	0:16	5,32
B20	0,8	2,4	82,3	91,4	1:08	0:41	9,34
B21	0,3	0,7	90,7	95,7	0:27	0:16	4,76
B22	1,4	4,1	92,1	96,4	1:05	0:39	17,81
B23	0,8	2,2	88,1	94,4	0:44	0:26	11,28
B24	0,2	0,6	94,5	97,5	0:19	0:11	4,76
Desembocadura	34,2	100	79,5	89,9	6:20	3:48	258,56

Tabela 8.12 Características e caudais obtidos nas confluências da bacia hidrográfica de Barcarena.

Confluência	Composição	Distância (km)	Área drenada		Caudal	
			km²	%	m³/s	%
C1	B1 + B2	5,4	6,1	17,8	28,86	11,2
C2	B3 + Montante	5,7	7,2	21,0	33,49	13,0
C3	B4 + Montante	6,8	11,7	34,4	65,63	25,4
C4	B5 + Montante	7,6	12,7	37,1	72,61	28,1
C5	B6 + Montante	7,8	13,3	38,8	76,08	29,4
C6	B7 + Montante	8,9	14,4	42,2	82,74	32,0
C7	B8 + Montante	9,6	15,2	44,5	87,42	33,8
C8	B9 + Montante	10,0	18,2	53,3	114,87	44,4
C9	B10 + Montante	10,2	18,5	54,2	117,18	45,3
C10	B11 + Montante	10,4	19,0	55,6	120,51	46,9
C11	B12 + Montante	11,1	20,3	59,2	131,48	50,9
C12	B13 + Montante	11,7	21,2	62,1	139,55	54,0
C13	B14 + Montante	12,2	22,3	65,2	149,90	58,0
C14	B15 + Montante	13,1	24,3	71,1	174,59	67,5
C15	B16 + Montante	13,5	25,0	73,2	181,65	70,3
C16	B17 + Montante	13,9	26,2	76,6	194,93	75,4
C17	B18 + Montante	15,3	27,8	81,3	209,10	80,9
C18	B19 + Montante	15,9	28,5	83,4	214,11	82,8
C19	B20 + Montante	16,5	29,6	86,6	224,03	86,6
C20	B21 + Montante	17,3	30,3	88,7	228,55	88,4
C21	B22 + Montante	18,1	32,2	94,3	245,59	95,0
C22	B23 + Montante	18,4	33,2	97,1	252,48	97,6
C23	B24 + Montante	19,2	34,1	99,8	258,49	99,9
Desembocadura	-	19,4	34,2	100	258,56	100

O mais importante dos factores com influência na forma de um hidrograma de cheia é a área, na medida em que maiores sub-bacias produzem valores de escoamento/caudal mais elevados. No entanto, a associação que se estabelece entre área e caudal pode ser influenciada pelo substrato geológico, solos, ocupação do solo, declives, forma do canal fluvial, etc.. A relação entre a área e o caudal nas sub-bacias de Barcarena é ilustrada pela figura 8.14. Existe uma relação muito significativa na maioria das sub-bacias ($R^2 = 0,96$), em que, à medida que a área aumenta, o caudal também aumenta (figura 8.14a). Contudo, existem dois *outliers* (B1 e B4), que não foram considerados para o coeficiente de determinação. Trata-se das duas maiores sub-bacias, localizadas na parte montante da bacia de Barcarena (figura 8.13) e cujos CN são os mais baixos das 24 sub-bacias (tabela 8.11). O grau de impermeabilização e a localização no contexto da bacia de Barcarena são essenciais para explicar a posição das sub-bacias no gráfico de dispersão (figura 8.14a). No sector norte da bacia de Barcarena predominam as áreas de pendor agrícola/florestal e, por isso, o CN é mais baixo e o grau de impermeabilização menor (figura 7.9). Para além de B1 e B4, outras sub-bacias de montante (figura 8.13) e que detêm CN baixos (B2 e B3) são também as que mais se afastam (negativamente) da recta de tendência (figura 8.14a e tabela 8.11). Estas são, por isso, as que, proporcionalmente, têm menor capacidade de produzir caudais de ponta de cheia elevados.

Na situação inversa destacam-se B14, B15, B18 e B22 (figuras 8.13 e 8.14a), embora existam algumas sub-bacias com CN tão ou mais elevados (tabela 8.11), mas com menor importância no contexto da bacia de Barcarena. Isto é algo que pode ser explicado por outros factores como a forma, as características da rede de drenagem ou os declives. Três destas quatro sub-bacias localizam-se na margem esquerda da ribeira de Barcarena, onde se incluem as localidades de São Marcos (B14), Massamá (B15), Barcarena (B18) e Queijas/Linda-a-Pastora (B22) (figura 8.13). Há ainda que realçar a sub-bacia B9, cuja desembocadura está situada em Agualva-Cacém. Esta é a sub-bacia com o caudal de ponta de cheia mais elevado ($30,98 \text{ m}^3/\text{s}$) e que maior contribuição fornece para o escoamento total da bacia de Barcarena (figuras 8.13 e 8.14a e tabela 8.11). Apesar das diferenças entre sub-bacias, a forma alongada da bacia de Barcarena é essencial na evolução longitudinal do caudal de ponta de cheia, que aumenta de forma progressiva de montante para jusante. Como foi demonstrado no capítulo 7, as características geométricas da bacia fazem com que as suas sub-bacias tenham dimensões reduzidas e que a distância longitudinal entre confluências raramente diste menos de 200 metros (figura 8.13 e tabela 8.12). Os aumentos de caudal bruscos e acentuados são, por isso, pouco frequentes, já que os picos de escoamento das sub-bacias chegam ao curso de água principal em pontos e momentos diferentes, não se verificando coincidências espaciais e temporais.

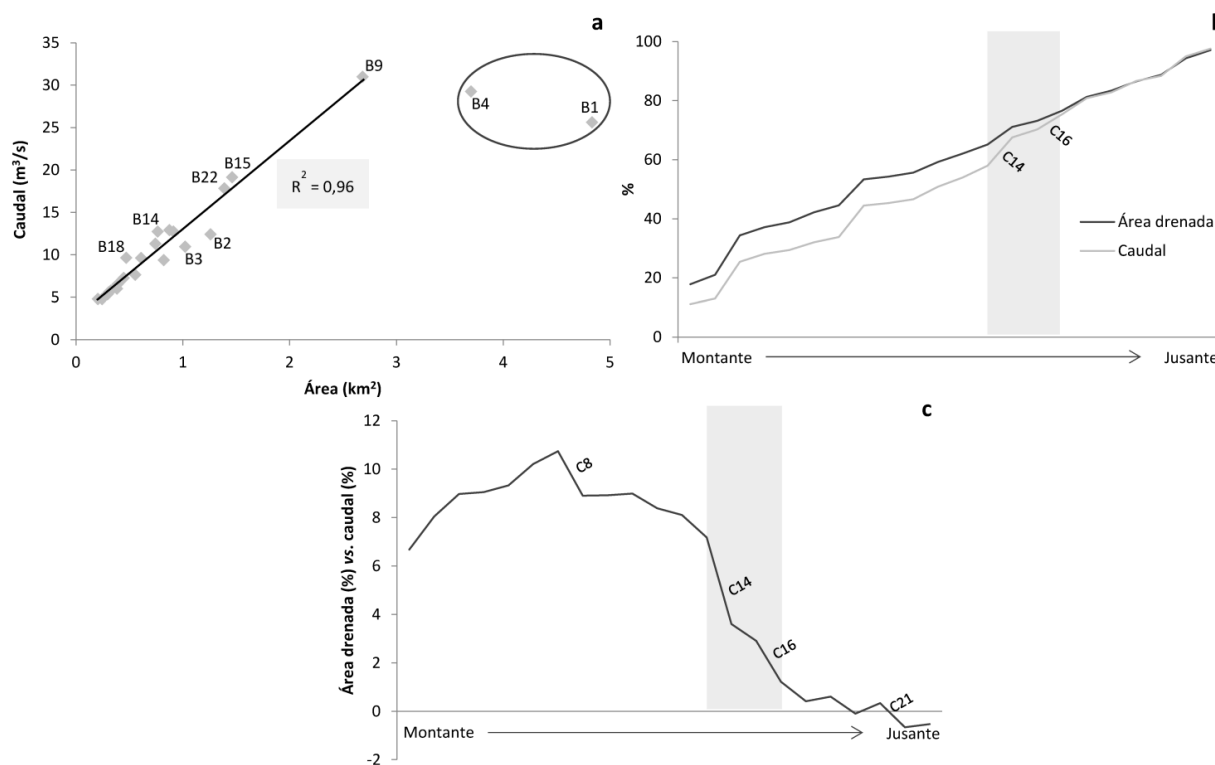


Figura 8.14 Área e caudal ao longo da bacia de Barcarena: relação entre a área e o caudal nas sub-bacias **(a)**; área drenada e caudal obtido (em % do total) nas confluências **(b)**; importância da área drenada relativamente ao caudal (em % do total) nas confluências **(c)**.

Ainda assim, as confluências são, em muitos casos, locais críticos no que diz respeito às cheias rápidas, onde se constata aumentos na altura da coluna de água (a montante) e na velocidade do escoamento (a jusante). Apesar do carácter alongado desta bacia não favorecer o desenvolvimento de cheias rápidas e o rápido incremento do caudal de ponta de cheia, foi possível identificar um sector mais crítico ao longo da ribeira de Barcarena, onde esta tendência é contrariada. Trata-se de uma extensão de cerca de 800/900 metros onde se concentra a desembocadura de três sub-bacias (B15, B16 e B17), correspondentes às confluências C14, C15 e C16 (figura 8.13), embora a segunda seja menos relevante. O contributo volumétrico proveniente destas sub-bacias, em que as desembocaduras estão próximas, faz ascender de forma notória o caudal do curso de água principal numa curta extensão. Essa realidade pode ser verificada através da figura 8.14b, em que se mostra a evolução da área drenada e do caudal (%) acumulados de montante para jusante. Confirma-se que a curva do caudal se aproxima da curva da área drenada à passagem pelas confluências C14 e C16, o que revela um incremento da importância do caudal produzido em detrimento da área drenada. Esta situação ainda é mais perceptível quando se efectua a subtracção entre as percentagens da área drenada e do caudal estimado em cada confluência (figura 8.14c). As maiores inclinações na curva representam os principais *inputs* de caudal, ou seja, quando as principais sub-bacias no que respeita ao *ratio* caudal/área drenada confluem no curso de água

principal. A queda mais abrupta é, de facto, a correspondente ao sector já referido, causada, fundamentalmente, pela confluência C14, isto é, da responsabilidade da sub-bacia B15²¹. Há ainda a salientar o efeito das confluências C8 e C21, provocado pelas sub-bacias B9 e B22, também já referenciadas atrás (figuras 8.13 e 8.14c).

Os três sectores críticos identificados em virtude do aumento do caudal face à área drenada são coincidentes com os resultados de outras fontes. Por um lado, existem marcas de cheia identificadas pelo SNPC nos sectores onde se incluem as confluências C8 e C21. Por outro, o sector onde se situam as confluências C14 e C16 está identificado como ponto crítico pelo LNEC (2009).

8.3.2. Áreas inundáveis, altura de água e velocidade do escoamento

A escolha do sector para a realização da modelação hidráulica foi feita em função dos resultados do modelo de susceptibilidade e do modelo hidrológico, havendo igualmente a preocupação de escolher um sector em que existissem elementos potencialmente expostos (a analisar no capítulo 9). A opção acabou por recair no troço compreendido, de forma genérica, entre as confluências C14 e C16, ou seja, no principal sector crítico identificado pela modelação hidrológica e quando se inicia o terceiro sector com maior susceptibilidade às cheias (figura 8.8 e tabela 8.7). Mais concretamente, o troço alvo de modelação hidráulica inicia-se algumas dezenas de metros a montante do local onde a ribeira de Massamá conflui com a ribeira de Barcarena (confluência C14) e termina a montante da confluência C16 (figuras 8.13 e 8.15).

À partida, justificar-se-ia prolongar para jusante o sector modelado devido à presença de vários edifícios que pertencem à Universidade Atlântica e à Fábrica da Pólvora/Museu da Pólvora Negra nas margens do curso de água. Todavia, parte desta área está edificada sobre o sector terminal da sub-bacia B17, cujo curso de água está canalizado subterraneamente entre a estrada do Cacém e a confluência C16. Não continuar a modelação para jusante pareceu ser a melhor solução face à incerteza nos resultados que a inclusão da sub-bacia B17 iria gerar. Se os efeitos no escoamento de uma pequena passagem hidráulica são bem representados pelo *HEC-RAS*, muito dificilmente o programa os reproduz de forma correcta quando um curso de água está canalizado subterraneamente ao longo de cerca de 100 metros com uma confluência a jusante. Note-se que o *HEC-RAS* só é capaz de modelar as condutas em que a forma, o declive, a direcção do escoamento e o caudal são constantes (USACE, 2016). Por outro lado, se se estendesse a área a modelar para jusante da confluência C16 e se se considerasse que o último troço do curso de água da sub-bacia B17 escoava a céu aberto, isso também iria originar uma representação deficiente do escoamento e das áreas inundáveis naquele sector (Cook e Merwade, 2009).

²¹ Numa confluência não se pode dizer que o incremento do caudal se deva apenas à sub-bacia, pois há que ter em conta que a área de transição também contribui para o escoamento, embora seja menos importante.

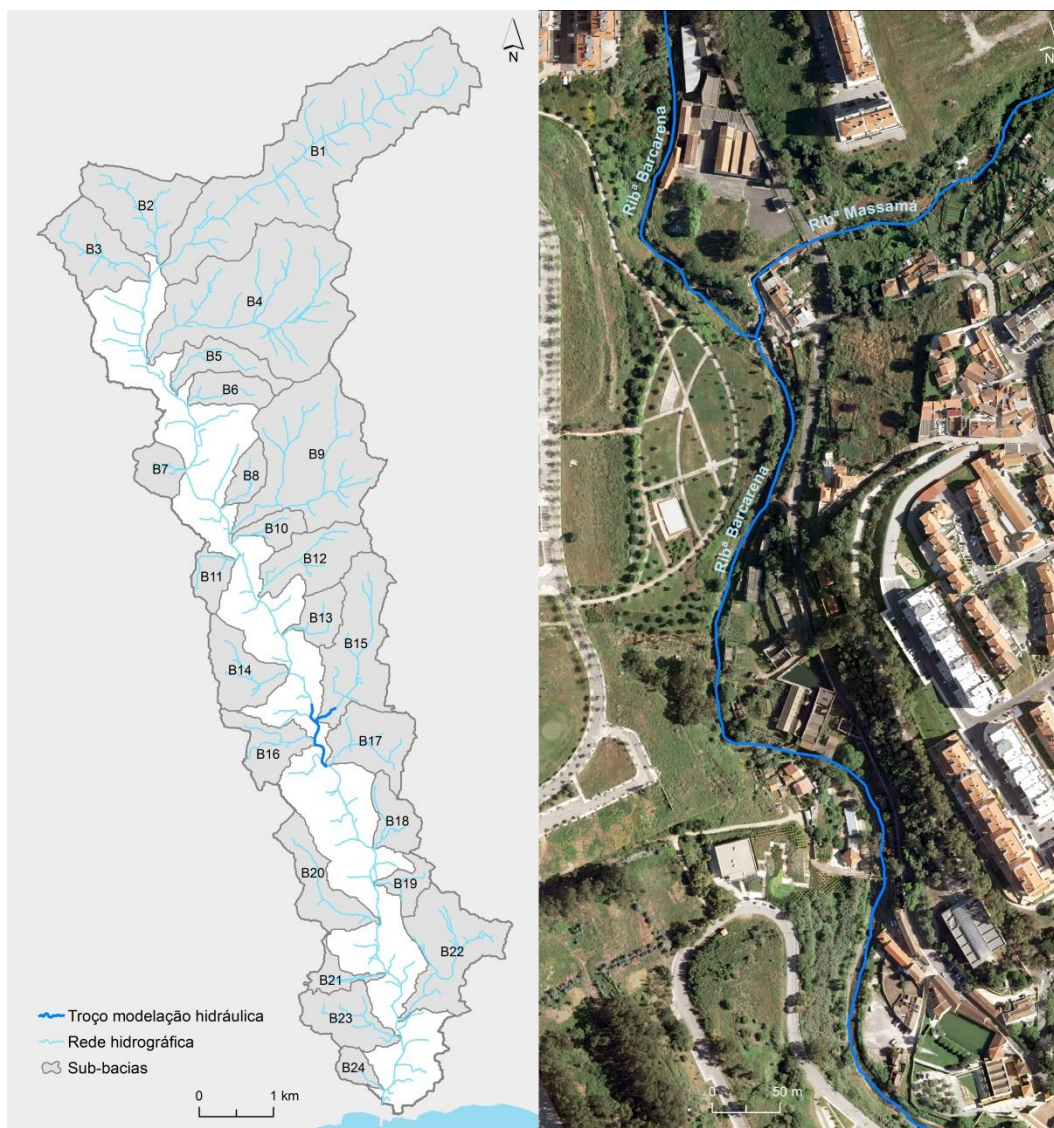


Figura 8.15 Localização do troço em que foi efectuada a modelação hidráulica.

Decidiu-se também efectuar a modelação hidráulica nas últimas centenas de metros da ribeira de Massamá (B15), dado que junto à sua confluência com a ribeira de Barcarena se situa um conjunto de habitações afectado por cheias com alguma frequência (Lugar do Bico). Daqui resulta uma extensão total a modelar de 1383 metros, dos quais 1026 metros fazem parte da ribeira de Barcarena e 357 metros da ribeira de Massamá (figura 8.15). Diga-se ainda que as localidades mais próximas são Massamá, a nordeste, e Tercena, a este.

A secção em que se procedeu à modelação hidráulica encontra-se no sector intermédio da bacia hidrográfica de Barcarena, numa área onde os declives não são os mais expressivos (montante) nem os mais suaves (jusante). Ainda assim, esta secção está incluída no sector 7 (figuras 7.6b e 7.7 e tabela 7.6), onde o declive da ribeira de Barcarena (1,7%) se torna, de novo, mais acentuado a jusante de Agualva-Cacém e a montante de São Marcos e de Massamá, ao longo dos terrenos pouco permeáveis do Complexo Vulcânico de Lisboa (figuras 7.3 e 7.4). No troço analisado existem alguns

muros, cuja maioria tem como função conter os terrenos e minimizar o efeito de sapa ao longo do canal fluvial, mais do que impedir que a água invada as margens em situações de cheia.

Os resultados obtidos através modelação hidráulica realizada no *HEC-RAS* e, mais tarde, exportados para ambiente SIG pelo *HEC-GeoRAS* permitiram determinar três parâmetros essenciais no âmbito das cheias rápidas: áreas inundáveis, altura da coluna de água e velocidade do escoamento. Estes parâmetros foram estimados para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. É preciso referir que as áreas inundáveis, as alturas de água e as velocidades estimadas para o maior período de retorno considerado (100 anos) podem ser ultrapassadas. De resto, os valores de precipitação registados em SJT para diversos períodos durante os eventos de 1967 e 1983 superaram o período de retorno de 100 anos (figura 2.12). Contudo, optou-se por não executar a modelação hidrológica e hidráulica para períodos de retorno superiores a 100 anos, já que a dimensão da série de dados de precipitação da estação de SJT não permite extrapolar com segurança os valores associados a 500 ou a 1000 anos.

Tratando-se de uma pequena bacia hidrográfica e atendendo aos caudais de ponta atingidos, é normal que a extensão das áreas inundáveis não seja muito significativa, especialmente quando comparada com o que sucede em bacias de maior dimensão. A forma do fundo de vale e as características (naturais e antrópicas) dos canais fluviais fazem com que, em alguns sectores, a água quase não extravase o leito menor, nem mesmo em eventos de elevada magnitude. Ainda assim, o incremento do período de retorno provoca evidentes modificações nas áreas inundáveis na maior parte do troço modelado (figura 8.16). Os resultados do modelo hidráulico apontam ainda para a interrupção da área inundável na ribeira de Massamá, devido à presença de uma passagem hidráulica sob a estrada do Cacém. Mesmo nos períodos de retorno mais elevados não se verifica qualquer galgamento nesta rodovia. Daqui resulta uma acumulação a montante da passagem hidráulica devido à sua menor secção de vazão.

Tendo em conta os resultados espaciais obtidos, considera-se que o modelo hidráulico se encontra em conformidade com os indicadores que permitem a sua validação. Com base em trabalho de campo, nas fotografias existentes de eventos de cheia, nos relatos publicados em Torres (2018) e nos testemunhos das populações afectadas, comprovou-se que os resultados do modelo se ajustam à realidade na globalidade da área de estudo. Há que reconhecer, contudo, que a secção em que os resultados são menos bons é a que se localiza imediatamente a jusante da confluência entre as ribeiras de Barcarena e de Massamá. Verifica-se uma pequena interrupção das áreas inundáveis associadas aos maiores períodos de retorno nas margens da ribeira de Barcarena (figura 8.16). Não se trata de um erro na computação realizada no *HEC-RAS*, mas sim de uma deficiência aquando da exportação destes para o *ArcMap* através do *HEC-GeoRAS*. A interrupção identificada é coincidente com a junção dos três polígonos gerados pelo *HEC-GeoRAS* na terceira e última fase do processo de

modelação, correspondentes aos três sectores modelados: Barcarena montante, Massamá e Barcarena jusante. Eventualmente, isto poderia estar relacionado com a excessiva distância medida ao longo dos cursos de água entre o último perfil transversal de Barcarena montante e de Massamá e o primeiro de Barcarena jusante, no entanto, esta distância é sempre inferior a 5 metros. Tal parece indicar um problema na representação das áreas inundáveis a jusante de uma confluência por parte do *HEC-GeoRAS*.



Figura 8.16 Áreas inundáveis associadas a diferentes períodos de retorno no troço modelado da bacia hidrográfica de Barcarena.

Os problemas identificados junto à confluência podem ajudar a explicar algumas deficiências na representação das áreas inundáveis no troço terminal da ribeira de Massamá. Através do trabalho de campo realizado e dos testemunhos da população residente no Lugar do Bico (figura 8.16),

comprovou-se que as áreas inundáveis delimitadas pela modelação hidráulica estão representadas por defeito neste local. Apesar da já referida questão da confluência, a menor superfície inundável em relação à verificada na realidade no principal arruamento do Lugar do Bico deverá estar relacionada com dois factores que o *HEC-RAS* e o *HEC-GeoRAS* não consideram. O mais importante é a acumulação de lixo e detritos nos leitos fluviais (figura 8.17). Daqui resultam diversos problemas, responsáveis pelo aumento da frequência e magnitude das cheias: como a diminuição das secções de vazão, o efeito de represa gerando a subida do nível da água a montante dos obstáculos ou o aumento dos caudais sólidos. Outro factor relevante é a porção do escoamento superficial de cariz pluvial, proveniente da Estrada do Cacém, e que, por isso, não se deve ao transbordo da ribeira de Massamá.

Numa outra perspectiva, é importante ter a noção que a modelação hidráulica realizada através do *HEC-RAS* não considera a componente tempo. Isto significa que, por um lado, não é possível determinar a evolução temporal das áreas inundáveis e, por outro, este modelo não contempla os tempos de concentração/resposta da bacia e sub-bacias, algo cuja influência não pode ser representada nas áreas inundáveis.



Figura 8.17 Detritos ao longo do troço modelado junto ao Lugar do Bico (a, b, c) e à Universidade Atlântica (d).

Estima-se que as áreas inundáveis para o período de retorno de 2 anos representem pouco mais de metade (51%) das referentes a uma recorrência de 100 anos (tabela 8.13). Por outro lado, os maiores acréscimos na extensão das áreas inundáveis estão associados aos períodos de retorno de 5 e 50 anos, cujos valores relativos ascendem a 12 e 14%, respectivamente (tabela 8.13 e figura 8.18). Estas percentagens representam aumentos em relação ao período de retorno precedente. Todavia, é necessário compreender que a dimensão temporal é diferente, ou seja, decorrem apenas 3 anos entre os períodos de retorno de 2 e 5 anos, mas são 30 anos que separam as recorrências de 20 e 50 anos. Através de uma relação de proporcionalidade directa a partir dos valores obtidos para os 6 períodos de retorno, estima-se que, à medida que a recorrência aumenta, o acréscimo anual na superfície das áreas inundáveis diminui (tabela 8.13). Como tal, o acréscimo anual estimado entre os períodos de retorno de 2 e 5 anos é de 1145 m², enquanto entre 50 e 100 anos é de apenas 40 m². Outra perspectiva é fornecida pelo volume (escoamento). Se as diferenças nos caudais de ponta para 50 e 100 anos resultam num aumento da superfície inundável de somente 1980 m², tal representará, por certo, um acréscimo importante no volume de água (m³), expresso pelo aumento da sua cota/altura.

Tabela 8.13 Áreas inundáveis no troço modelado da bacia de Barcarena por período de retorno.

Período de retorno	Área inundável				
	Total (m ²)	Total (%)	Acréscimo (m ²)	Acréscimo (%)	Estimativa de acréscimo anual (m ²)
2 anos	14.102	51	-	-	-
5 anos	17.538	63	3436	12	1145
10 anos	19.627	71	2089	8	418
20 anos	21.817	78	2190	8	219
50 anos	25.845	93	4028	14	134
100 anos	27.825	100	1980	7	40

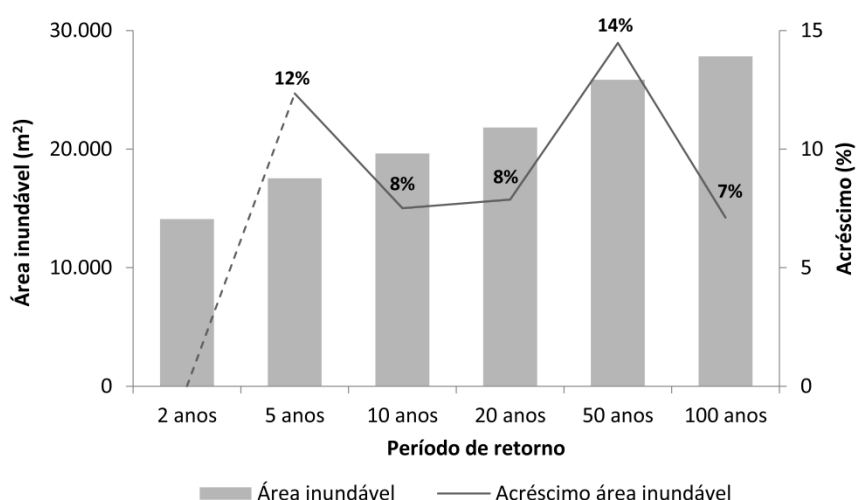


Figura 8.18 Superfícies e acréscimos na extensão das áreas inundáveis em função do período de retorno.

A modelação hidráulica permite, não só, determinar as áreas inundáveis, como também obter a altura da coluna de água e a velocidade do escoamento para os diversos períodos de retorno (figuras 8.19 e 8.20). Analisa-se em primeiro lugar a altura da água. Como é normal, os locais onde se atingem as maiores alturas de água coincidem com os canais fluviais e, mais concretamente, com os talwegues. À medida que a magnitude dos eventos de cheia aumenta, observam-se incrementos da altura de água nos leitos fluviais e uma consequente ocupação progressiva das margens do curso de água (figura 8.19). Nesses locais o nível atingido pela água é, naturalmente, menor.

Para se compreender a forma como se distribuem as alturas de água nas áreas inundáveis, e qual a sua variação em função dos períodos de retorno, foram definidas 5 classes: ≤ 1 m, 1-2 m, 2-3 m, 3-4 m, e > 4 m. A importância destas classes varia conforme a sua recorrência (tabela 8.14). Como seria expectável, as alturas até 1 m são as mais comuns e as superiores a 4 m são as menos relevantes em todos os períodos de retorno (tabela 8.14). A percentagem de área ocupada pela primeira classe (≤ 1 m) varia entre 52% para 2 anos e 38% para 20 anos. É interessante constatar que a sua importância decresce até aos 20 anos e volta a subir nos 50 e 100 anos. Tal facto é justificado pelo transbordo do curso de água relativamente ao seu leito ordinário e ocupação do seu leito de cheia em várias secções nos períodos de retorno mais elevados (figuras 8.16 e 8.19). Na segunda classe (1-2 m), a área ocupada decresce com a diminuição da frequência, variando entre 42% para 2 anos e 25% para 100 anos. Entre 2 e 3 m de altura de água, a área ocupada aumenta até aos 10 anos (22%) e diminui de forma progressiva nas magnitudes mais elevadas. Nas últimas duas classes (3-4 m e > 4 m), a relevância cresce com o incremento do período de retorno. Importa ainda referir que a última classe só está representada nos 20, 50 e 100 anos e que a penúltima classe não surge nos resultados estimados para 2 anos (tabela 8.14).

A altura de água média aumenta de forma crescente entre os 0,98 m (2 anos) e os 1,54 m (100 anos), enquanto a altura de água máxima estimada é de 2,77 m para 2 anos e de 5,01 m para 50 anos (figura 8.21a). No caso da altura de água máxima é curioso observar que o valor mais elevado foi obtido para 50 anos e não para 100 anos, embora a diferença não seja significativa (8 cm). Tal pode estar relacionado com a maior extensão das áreas inundáveis para 100 anos e da forma como isso afecta a repartição das alturas de água.



Figura 8.19 Alturas de água para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

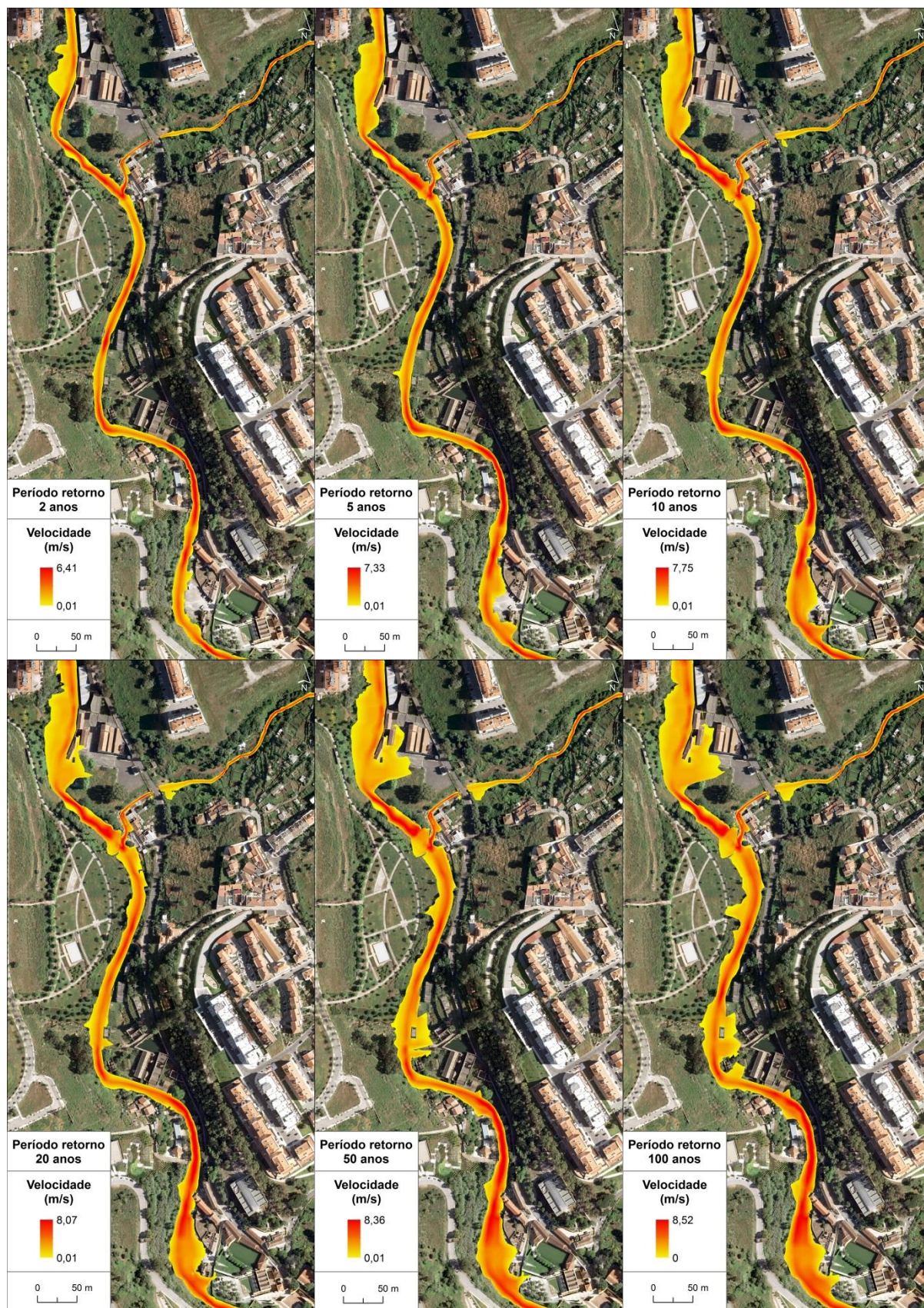


Figura 8.20 Velocidades de escoamento para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

A espacialização da velocidade do escoamento permitiu determinar quais as secções em que se atingem os valores mais elevados (figura 8.20). À semelhança do que acontece para a altura de água, as maiores velocidades ocorrem ao longo dos canais fluviais, nos troços em que o declive do leito é mais acentuado. A jusante dos troços cujas secções de vazão são mais estreitas a velocidade do escoamento também tende a ser mais elevada. A montante dos locais onde existem estreitamentos no leito, quer sejam naturais ou artificiais, a velocidade decresce e a área inundável aumenta, tal como sucede a montante da passagem hidráulica existente na ribeira de Massamá, por onde passa a estrada do Cacém (figuras 8.16 e 8.20). A jusante desta infra-estrutura situa-se uma das secções onde se atingem as velocidades mais elevadas do troço modelado. A comprovar as elevadas velocidades atingidas e a capacidade destruidora da ribeira de Massamá até à confluência com a ribeira de Barcarena estão os estragos visíveis no leito do canal fluvial daquele afluente assinalados na figura 8.22. Refira-se que a 2 de Novembro de 2011, data do último evento relevante nesta área, as cheias destruíram parte dos muros de protecção das habitações do Lugar do Bico (actualmente reconstruídos) e uma ponte pedonal.

Por outro lado, quando o canal se torna mais largo ou existe um transbordo do curso de água e inundação do leito maior, a velocidade do escoamento diminui. As perdas de velocidade também se verificam a montante das confluências. Na área de estudo, constata-se reduções na velocidade na ribeira de Barcarena, a montante da confluência da ribeira de Massamá, mais notórias para os períodos de retorno mais elevados (figura 8.20). Tal pode ser explicado pelo incremento da altura da coluna de água e pela elevada turbulência do escoamento, típica da convergência entre dois cursos de água quando acontecem cheias rápidas.

As cinco classes de velocidade definidas (≤ 1 m/s, 1-3 m/s, 3-5 m/s, 5-7 m/s e > 7 m/s) apresentam um padrão mais linear no que concerne à sua importância face aos períodos de retorno quando comparado com a distribuição da altura de água. Deste modo, a relevância das velocidades mais elevadas é quase sempre maior nos eventos de maior magnitude (tabela 8.15). A única excepção é a classe 1-3 m/s, cuja importância cresce até aos 10 anos, atingindo mais de 50% do total, e, a partir daí, começa a decrescer. As velocidades médias calculadas também crescem com o aumento do período de retorno, variando entre 1,55 m/s e 2,12 m/s, tal como os valores máximos que atingem 6,41 m/s para 2 anos e 8,52 m/s para 100 anos (figura 8.21b).

Tabela 8.14 Classes de altura de água e respectiva área (%) ocupada por período de retorno.

Altura de água (m)	Área (%)					
	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
≤ 1	52,3	42,4	39,3	37,9	40,5	41,6
1 – 2	42,2	35,6	32,8	30,5	26,7	24,6
2 – 3	5,5	20,1	21,8	21,3	19,4	18,7
3 – 4	0	1,9	6,1	9,8	10,9	12,2
> 4	0	0	0	0,5	2,5	2,9

Tabela 8.15 Classes de velocidade de escoamento e respectiva área (%) ocupada por período de retorno.

Velocidade (m/s)	Área (%)					
	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
≤ 1	38,8	33,5	29,9	28,3	28,9	27,5
1 – 3	48,1	49,7	50,6	49,9	47,8	46,3
3 – 5	12,2	14,5	16,0	17,3	18,1	19,7
5 – 7	0,9	2,2	3,3	4,2	4,8	5,9
> 7	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6

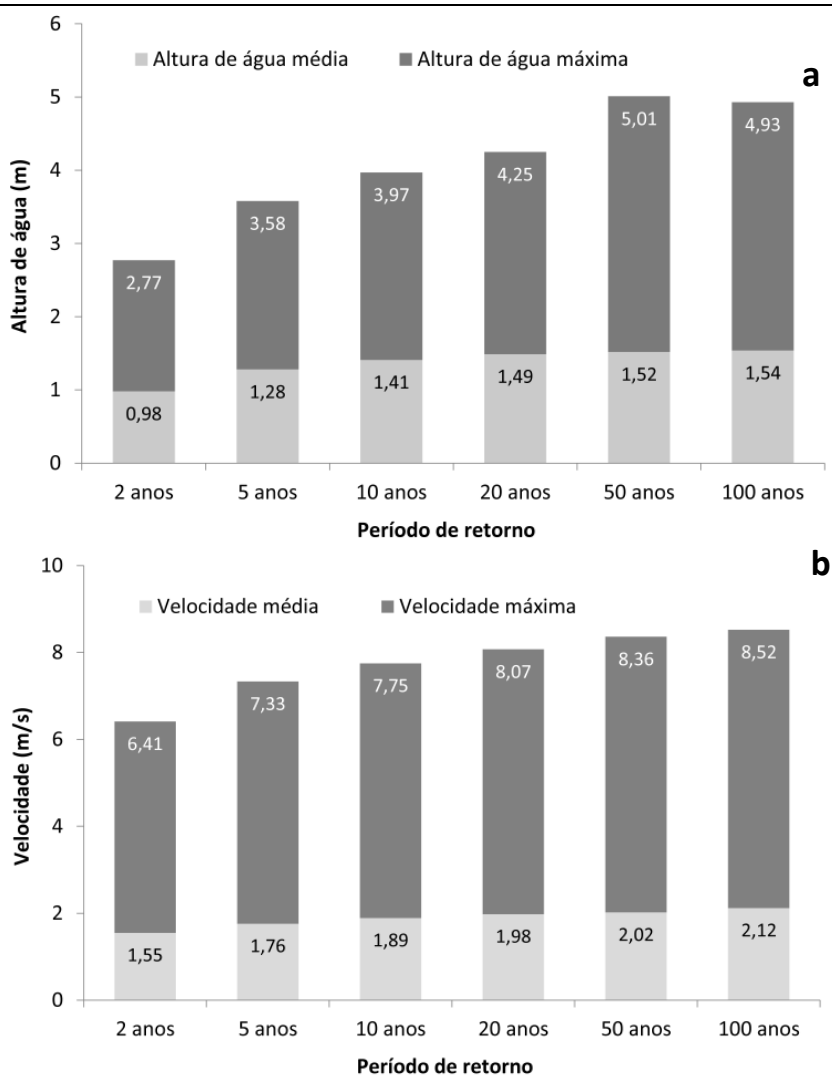


Figura 8.21 Valores médios e máximos de altura de água (a) e de velocidade de escoamento (b) por período de retorno.



Figura 8.22 Confluência das ribeiras de Massamá e Barcarena vista de montante **(a)** e de jusante **(b)**.

O modelo hidráulico assume que as velocidades mais elevadas ocorrem no centro do canal fluvial, o que é verdade quando o canal é rectilíneo, não o sendo quando existem meandros ou mudanças na direcção do escoamento. Nestes sectores, as maiores velocidades ocorrem no lado exterior das curvaturas, mais próximo de uma das paredes do canal, favorecendo a erosão nesses locais. Pode então dizer-se que o modelo hidráulico é capaz de efectuar a modelação da velocidade do escoamento de forma correcta nos troços rectilíneos. Por outro lado, haverá, por certo, erros nos troços curvos, algo que os modelos 2D permitem superar (Gibson e Pasternack, 2016).

Apesar das incertezas referidas, vale a pena, ainda assim, aferir o grau de associação entre a altura de água e a velocidade do escoamento no sector modelado. Em primeiro lugar, procurou-se conhecer quais os pontos/células em que se atingem as maiores alturas de água e as velocidades mais elevadas, se estes são coincidentes e se são os mesmos em todos os períodos de retorno. A localização desses pontos pode ser vista na figura 8.23.

No que diz respeito aos níveis máximos de altura de água, foram identificados dois locais: um para os períodos de retorno de 2 a 20 anos e outro para os períodos de retorno de 50 e 100 anos (figura 8.23a). Quanto às velocidades máximas nas várias recorrências, estas repartem-se por três locais: 1) para 2 anos; 2) para 5 a 20 anos; e 3) para 50 e 100 anos (figura 8.23b). Os valores máximos até aos 20 anos (inclusive), tanto de altura de água como de velocidade, tendem a ocorrer no mesmo local. Já os valores máximos para 50 e 100 anos ocorrem noutro ponto do canal fluvial da ribeira de Barcarena, embora ambos partilhem o mesmo local. A única excepção a esta tendência reporta-se à velocidade máxima para o período de retorno de 2 anos, que ocorre na ribeira de Massamá, a jusante da passagem hidráulica da estrada do Cacém. Neste local é possível observar a capacidade erosiva deste curso de água em situações de cheia, comprometendo o muro de suporte da vedação existente na margem direita (figura 8.24a). De resto, o potencial erosivo da ribeira de Massamá no seu troço final já tinha sido ilustrado pela figura 8.22.

Apesar da localização dos valores máximos nas duas componentes do escoamento possuírem aspectos comuns, constata-se algumas diferenças. Em primeiro lugar, as duas localizações identificadas para a altura de água estão mais afastadas (cerca de 120 metros) do que as referentes à velocidade (cerca de 10 metros), exceptuando o local do período de retorno de 2 anos que, como já foi referido, se encontra na ribeira de Massamá. A curta distância entre os pontos máximos permite identificar essa secção como o ponto mais crítico da velocidade (figura 8.23b). Este facto está relacionado com o estreitamento do canal fluvial que aí ocorre, fazendo com que o escoamento adquira uma maior velocidade. Este resultado do modelo hidráulico pode ser comprovado tanto pela ausência de aluviões no mapa geológico neste troço (figura 7.3a), como pela capacidade erosiva do curso de água, responsável pelo sapamento lateral do muro de contenção (figura 8.24b).

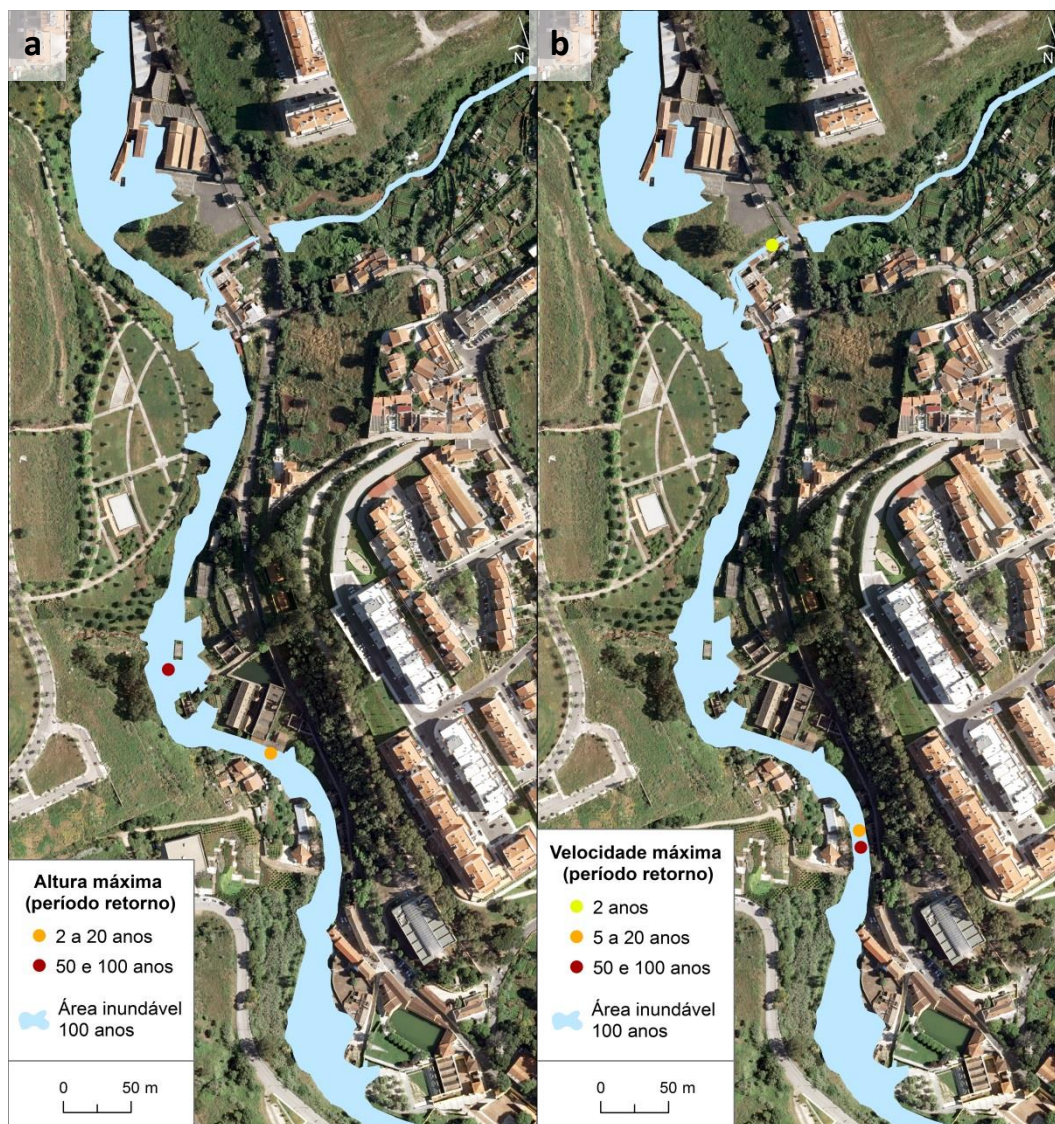


Figura 8.23 Localização dos valores máximos de altura de água **(a)** e de velocidade de escoamento **(b)**.



Figura 8.24 Sapamento lateral das margens da ribeira de Massamá **(a)** e de Barcarena **(b)** nos troços em que se atingem as maiores velocidades de escoamento.

A localização da altura de água máxima para os períodos de retorno entre 2 a 20 anos (figura 8.23a) está a montante do estreitamento do canal e do troço de maior velocidade (figuras 8.23b e 8.24b). Relembre-se que os estreitamentos naturais ou antrópicos resultam na expansão da área inundável, no aumento da altura de água e na perda de velocidade a montante, e na redução da altura de água e no incremento da velocidade a jusante. As maiores alturas de água nos períodos de retorno de 50 e 100 anos verificam-se numa secção onde a área inundável é bastante mais extensa comparativamente ao que acontece a montante e a jusante (figura 8.23a). Isto é algo frequente onde se verificam curvas no canal fluvial, havendo uma tendência para a margem localizada no lado convexo ser inundada.

Os resultados obtidos permitem confirmar que a localização dos valores máximos de altura de água e de velocidade não são coincidentes espacialmente (figura 8.23). Às alturas de água máximas não estão associados valores de velocidade muito elevados e às velocidades máximas não estão associadas as maiores alturas de água. Também o facto de, ao longo das secções transversais, os pontos em que se registam as maiores alturas de água e as velocidades mais elevadas não serem coincidentes, contribui para a explicação. No fundo, verificam-se dois tipos de discordâncias espaciais: longitudinal e transversal. Por um lado, as características do canal fluvial promovem acelerações/abrandamentos no escoamento e elevações/descidas na altura de água ao longo do mesmo. Por outro lado, a localização das maiores velocidades no centro do canal fluvial nem sempre é coincidente com a posição do talvegue, ocasionando desencontros transversais nos valores mais elevados de altura de água e de velocidade.

Ainda assim, vale a pena olhar com mais atenção para estas duas componentes do escoamento sem ser apenas através dos valores máximos. Para tal, recorreu-se a duas amostras compostas por 100 células seleccionadas de forma aleatória, uma localizada na área inundável do período de retorno mais baixo (2 anos) e a outra na área inundável do período de retorno mais elevado (100 anos). De cada uma dessas células foram extraídos os valores de altura de água e de velocidade. Percebe-se que a relação entre a altura de água e a velocidade é fraca em ambos os períodos de retorno, com os coeficientes de determinação a cifrarem-se em 0,12 para 2 anos (figura 8.25a) e 0,22 para 100 anos (figura 8.25b).

As mesmas amostras de células aleatórias para 2 e 100 anos de recorrência utilizadas na figura 8.25 permitem efectuar um outro tipo de análise, gerando resultados interessantes. Ao representar a altura de água numa curva de valores crescentes, associando-lhes as velocidades respectivas, isto é, obtidas para as mesmas 100 células, é possível identificar duas tendências distintas na velocidade em ambos os períodos de retorno (figura 8.26a e 8.26b). Numa primeira fase, é notória uma tendência crescente da velocidade, acompanhando a linha crescente da altura de água. Numa segunda fase, a velocidade tende a decrescer à medida que a altura de água aumenta, verificando-se um progressivo

afastamento entre as curvas. Isto demonstra que, a partir de determinado ponto, às alturas de água elevadas deixam de estar associadas velocidades elevadas, tendo estas, inclusivamente, uma propensão para baixar quando se atingem as maiores alturas de água. Tal parece estar relacionado com algo já referido: quando há uma desaceleração do escoamento dá-se uma acumulação de água a montante e uma elevação nos níveis atingidos, o que origina, por sua vez, a inundação das margens do curso de água. É o que acontece, por exemplo, no local estimado para a altura de água máxima nos períodos de retorno de 50 e 100 anos (figuras 8.19 e 8.23a).

Apesar da existência de uma tendência em ambas as fases, confirma-se que a relação entre a altura de água e a velocidade não é directa, ou seja, os valores de uma componente não são apenas consequência da outra. Há outros factores que interferem nesta relação como a rugosidade das superfícies, a proximidade às paredes do canal fluvial, a modificação longitudinal das características do canal (estreitamentos, alargamentos ou meandros) ou a turbulência do escoamento. Isto faz com que ocorram velocidades bastante diferentes para alturas de água semelhantes. A variação da velocidade chega a atingir mais de 4 m/s em ambos os períodos de retorno (figuras 8.26a e 8.26b).

O mesmo exercício foi realizado na perspectiva inversa, isto é, representou-se a velocidade numa curva de valores crescentes, associando-lhes as alturas de água respectivas (figuras 8.27a e 8.27b). Os resultados são semelhantes, revelando que, quando a velocidade do escoamento é muito elevada, é menos provável que a altura de água também o seja. Recorde-se que, nos locais onde se alcançam as velocidades máximas, as alturas de água não são particularmente elevadas (figuras 8.19 e 8.23b), pois a aceleração do escoamento impede a acumulação de água e a inundação das áreas adjacentes ao curso de água. Os resultados obtidos mostram que velocidades semelhantes podem ocorrer com alturas de água que variam mais de 2 metros no período de retorno de 2 anos (figura 8.27a) e mais de 4 metros no período de retorno de 100 anos (figura 8.27b).

Os resultados anteriores demonstram a existência de tendências contrastadas no que concerne à relação entre a altura de água e a velocidade, revelando que quando se atingem valores muito elevados numa das componentes, a outra tende a comportar-se de forma oposta. Importa agora analisar o que ocorre na mesma célula em todos os períodos de retorno, de modo a aferir se o aumento da magnitude tem consequências na associação entre altura de água e velocidade. Para tal, das 100 células que compõem a amostra aleatória referente ao maior período de retorno (100 anos), foram seleccionadas quatro consideradas representativas de quatro tipos de situações existentes na área inundável (figura 8.28).

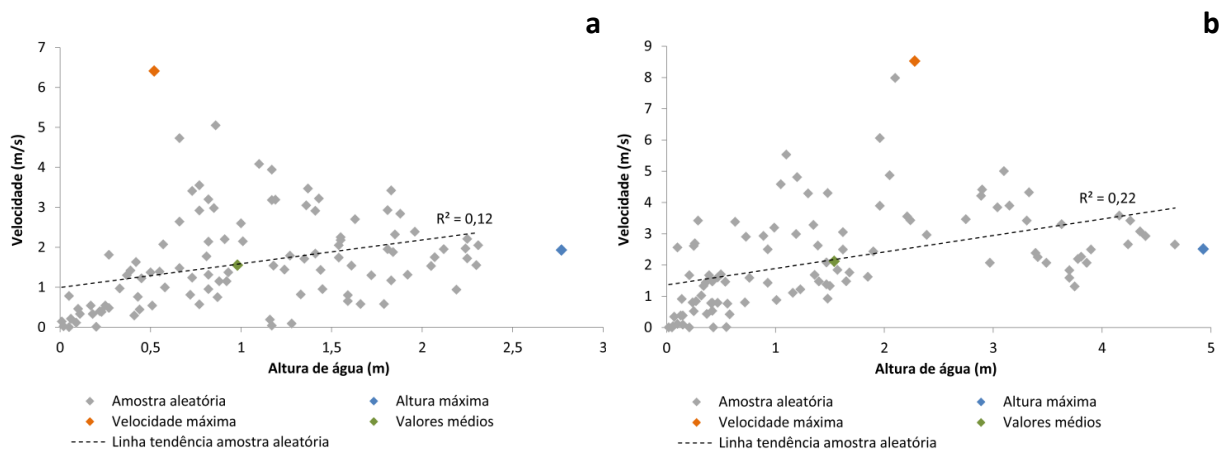


Figura 8.25 Relação entre altura de água e velocidade de escoamento para uma amostra aleatória de pontos referentes aos períodos de retorno de 2 (a) e 100 anos (b).

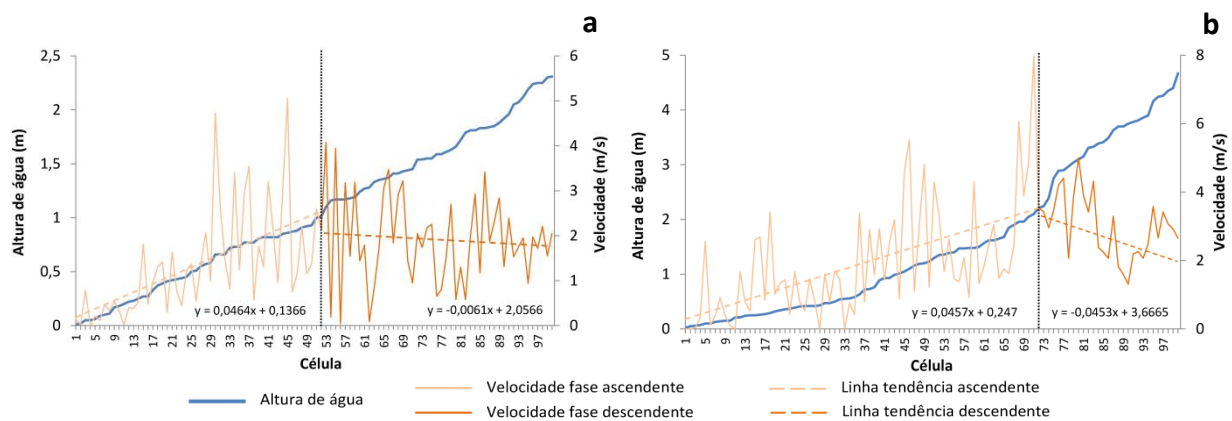


Figura 8.26 Variação dos valores de velocidade de escoamento com o aumento da altura de água a partir de uma amostra aleatória de pontos para os períodos de retorno de 2 (a) e 100 anos (b).

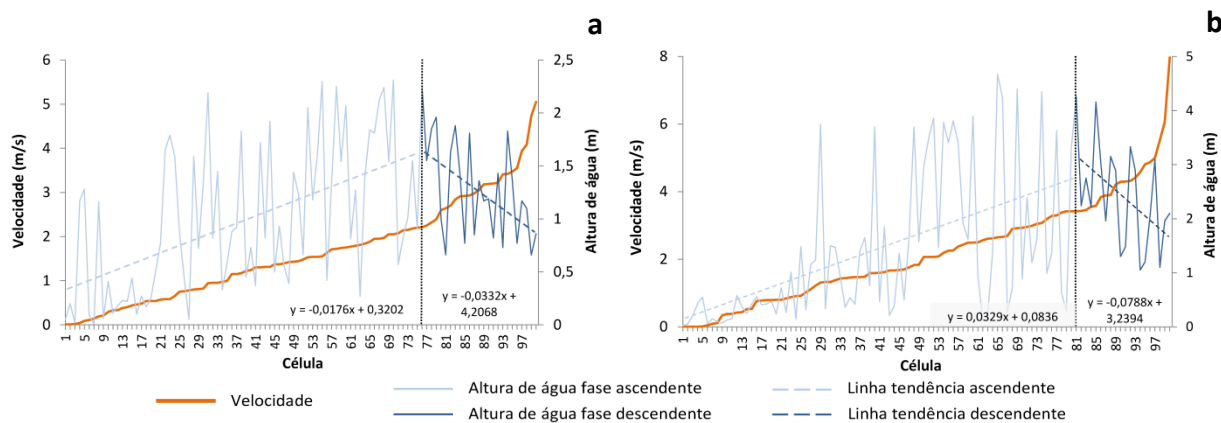


Figura 8.27 Variação dos valores de altura de água com o aumento da velocidade de escoamento a partir de uma amostra aleatória de pontos para os períodos de retorno de 2 (a) e 100 anos (b).

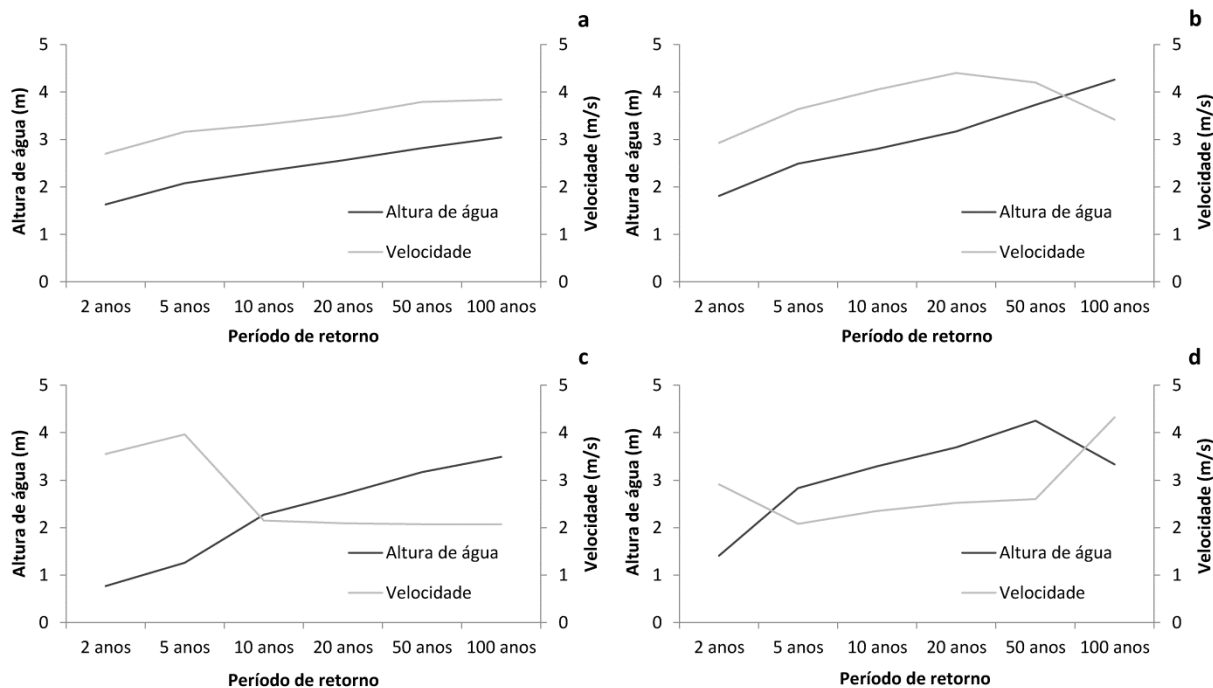


Figura 8.28 Tipos de relações (a, b, c, d) entre os valores de altura de água e de velocidade para diferentes períodos de retorno a partir de uma amostra aleatória de pontos.

A situação mais comum, correspondente a 60% das células, é a que se verifica quando existe um aumento constante da altura de água e da velocidade do escoamento à medida que o período de retorno sobe (figura 8.28a). Isto significa que o incremento da magnitude implica aumentos graduais em ambas as componentes do escoamento. No entanto, é importante realçar que este tipo de relação raramente ocorre para valores muito elevados, confirmando algo que as figuras anteriores tinham mostrado. Assim, quando ocorrem alturas de água ou velocidades muito elevadas, a outra componente actua no sentido oposto, como se de um mecanismo de compensação se tratasse.

Na figura 8.28b ambas as componentes crescem de modo progressivo com o incremento do período de retorno, mas a velocidade começa a decrescer a partir dos 20 anos em virtude do elevado nível de altura de água alcançado. Outra situação está retratada na figura 8.28c, em que velocidade mais elevada é atingida aos 5 anos, decrescendo continuamente a partir daí, enquanto a altura de água apresenta uma subida constante. O último tipo expõe um crescendo da altura da coluna de água até aos 50 anos, registando uma perda abrupta aos 100 anos, ao mesmo tempo que a velocidade tem uma subida acentuada (figura 8.28d).

8.3.3. Mapa da perigosidade

Da conjugação entre a altura de água e a velocidade do escoamento foi determinada a perigosidade às cheias rápidas. A sua avaliação foi efectuada com recurso a uma matriz de perigosidade (figura 8.4), em que os valores críticos foram 0,5 m e 2 m para a altura de água e 0,5 m/s e 2 m/s para a velocidade do escoamento.

A tabela 8.16 e a figura 8.29 ilustram a importância dos três níveis considerados de perigosidade às cheias rápidas no troço modelado da bacia de Barcarena para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. A porção da área inundável com perigosidade elevada é a mais extensa em qualquer das recorrências, atingindo sempre valores relativos a rondar os 50% a partir do período de retorno de 5 anos (inclusive). A justificação para este facto reside nas características da área de estudo. Os canais fluviais são estreitos e, em alguns trechos, estão delimitados por muros de contenção, fazendo elevar a altura de água e/ou a velocidade do escoamento. Como tal, a perigosidade elevada coincide, na maioria dos casos, com o leito menor das linhas de água, ocupando grande parte da largura da área inundável, sempre que o escoamento não extravasa o canal fluvial (figura 8.30). Para além do leito menor, existem ainda algumas áreas no leito de cheia onde a perigosidade também é elevada. Isto sucede na parte jusante do troço analisado, junto à Universidade Atlântica, onde o leito de cheia na margem esquerda da ribeira de Barcarena é mais extenso do que na maioria dos sectores a montante (figura 8.30). Este troço é coincidente com uma curva do canal, cujos efeitos na altura da coluna de água e na velocidade do escoamento já foram descritos.

No período de retorno mais baixo (2 anos) as alturas de água e as velocidades não atingem valores elevados em toda a extensão transversal dos canais fluviais. Estima-se assim que o maior equilíbrio entre níveis de perigosidade ocorra nos eventos mais frequentes (tabela 8.16 e figura 8.29). É interessante constatar que é num evento com recorrência de 20 anos, e não naqueles com períodos de retorno mais elevados, que se atinge o pico da importância relativa da perigosidade elevada, embora as diferenças relativas sejam pouco relevantes.

A importância relativa da perigosidade moderada decresce com o aumento do período de retorno (tabela 8.16 e figura 8.29). Esta diminui de forma progressiva entre os 2 anos (35%) e os 100 anos (24%). Por outro lado, e exceptuando o período de retorno mais baixo, é aos 50 e aos 100 anos que a relevância da perigosidade reduzida é maior, em termos percentuais (tabela 8.16 e figura 8.29). Este aparente contra-senso resulta de algo que já foi referido. É a partir dos dois períodos de retorno mais elevados que as alturas de água atingidas permitem a ocupação de maiores áreas do leito de cheia, não se cingindo apenas aos canais fluviais (figura 8.16). Com a diminuição da recorrência, as áreas identificadas como de perigosidade moderada e reduzida tendem a afastar-se do talvegue e a ocuparem o leito de cheia (figura 8.30). Nas margens dos cursos de água nem a altura de água, nem a

velocidade do escoamento são tão elevadas quanto o são ao longo do leito menor e, portanto, a perigosidade nesses locais e a capacidade da cheia causar danos nos elementos expostos é inferior.

Tabela 8.16 Importância dos níveis de perigosidade por período de retorno no troço modelado da bacia de Barcarena.

Período de retorno	Perigosidade reduzida		Perigosidade moderada		Perigosidade elevada		Área inundável (m ²)
	Área (m ²)	%	Área (m ²)	%	Área (m ²)	%	
2 anos	4270	30	4914	35	4918	35	14.102
5 anos	4049	23	5427	31	8062	46	17.538
10 anos	4311	22	5598	28	9718	50	19.627
20 anos	4981	23	5782	26	11.054	51	21.817
50 anos	6695	26	6417	25	12.733	49	25.845
100 anos	7319	26	6653	24	13.853	50	27.825
Média	5271	25	5799	28	10.056	47	21.126

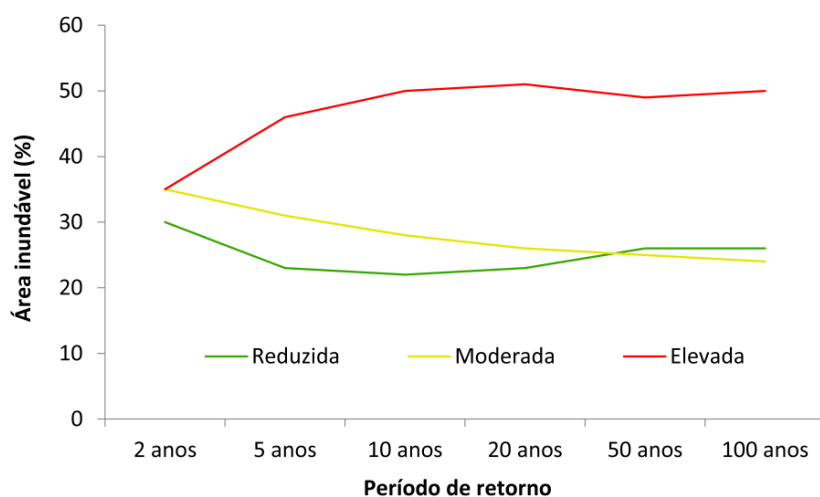


Figura 8.29 Variação da importância dos níveis de perigosidade por período de retorno no troço modelado da bacia de Barcarena.

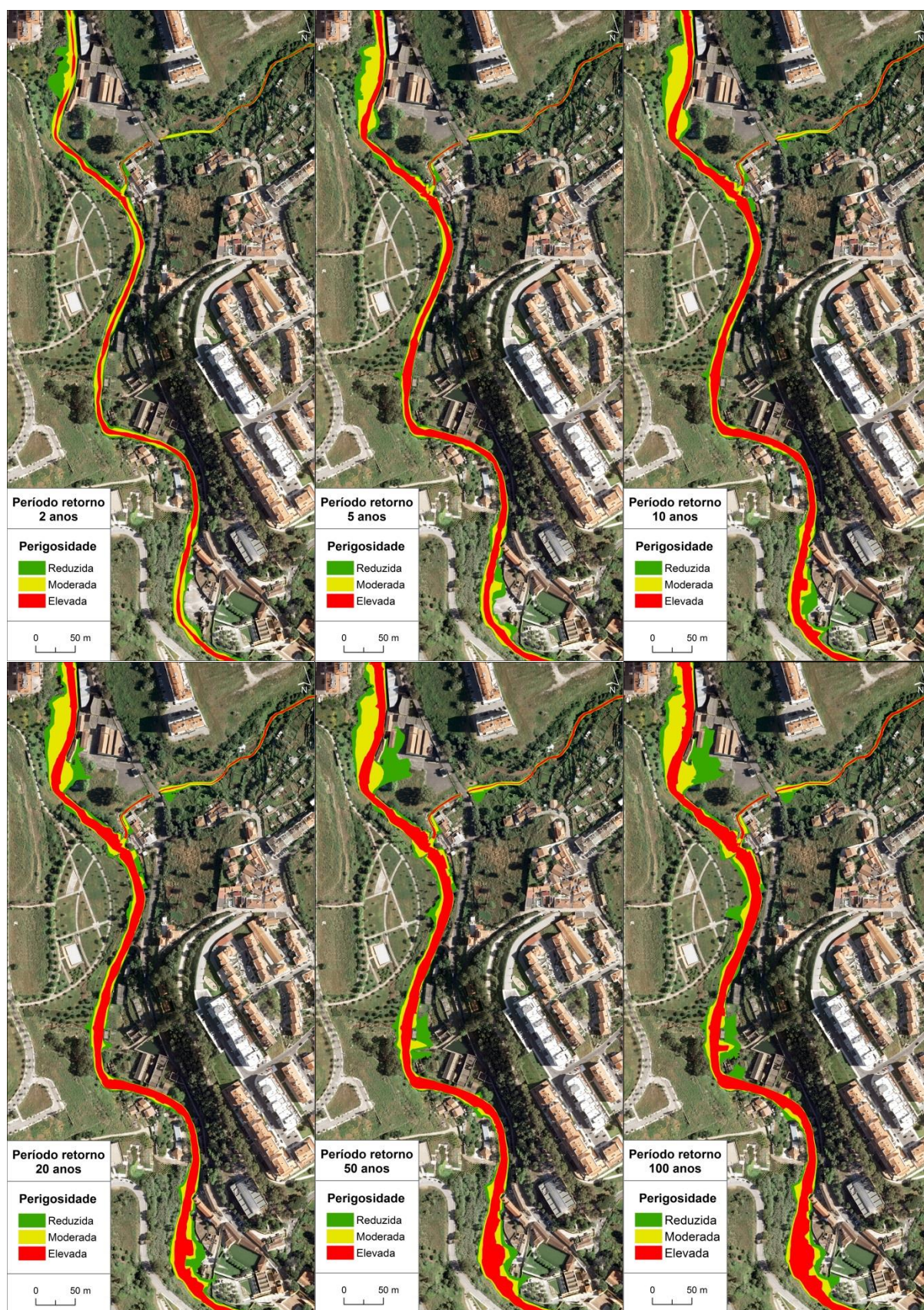


Figura 8.30 Perigosidade às cheias rápidas no trecho modelado da bacia de Barcarena para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

SÍNTESE DO CAPÍTULO 8

A avaliação da susceptibilidade às cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena foi concretizada através da aferição da importância dos factores condicionantes considerados mais relevantes: área de drenagem acumulada, permeabilidade, declive e efeito da preia-mar. Depois de testadas diversas ponderações e conjugações entre eles, ficou clara a relevância da área acumulada na quantidade de ocorrências validadas. Assim, foi atribuída uma ponderação 80% a este factor, de 10% à permeabilidade, de 5% ao declive e de 5% ao efeito da maré. Apesar da pequena dimensão das suas sub-bacias, os aumentos do nível de susceptibilidade ocorrem, essencialmente, quando os principais afluentes confluem no curso de água principal. A conjugação de factores utilizada permitiu validar 89% das ocorrências de cheias rápidas registadas na bacia, sendo que, à medida que a susceptibilidade aumenta, o número de ocorrências/km² tende a aumentar. Diga-se ainda que todos os danos humanos ocorreram nos 25,6 km identificados como susceptíveis (23% do total dos cursos de água da bacia).

A bacia hidrográfica de Barcarena quase não possui registos hidrométricos e, por isso, os caudais de ponta de cheia foram obtidos por via da precipitação, mais concretamente, de hietogramas de projecto para diferentes períodos de retorno. Os resultados obtidos através da modelação hidrológica revelaram que as condições antecedentes de humidade têm uma influência significativa nos caudais de ponta e nos hidrogramas de cheia. De AMC II para AMC III estimaram-se acréscimos de 49,27 m³/s nos caudais de ponta de cheia e de 777,5 dam³ no volume total do escoamento na desembocadura da bacia para o período de retorno de 100 anos. Comprovou-se também que os métodos cinemáticos e não cinemáticos avaliam os caudais de ponta por defeito numa bacia como a de Barcarena.

Apesar da forma da bacia de Barcarena condicionar a posição das suas sub-bacias, não favorecendo aumentos bruscos e acentuados no caudal do curso de água principal em situações de precipitação intensa foram identificados três sectores críticos. O mais importante é o trecho que se estende entre as desembocaduras das sub-bacias B15 e B17, também identificado pelo LNEC como sector crítico. Face a estes resultados, este foi o troço escolhido para executar a modelação hidráulica na bacia de Barcarena.

As áreas inundáveis delimitadas para vários períodos de retorno não são muito extensas, algo expectável em função da dimensão da bacia e das características dos fundos de vale e dos canais fluviais ao longo do troço modelado. As áreas inundáveis apenas atingem maiores extensões nas secções em que o fundo de vale é mais largo. Nesses locais tendem a existir aumentos da altura da coluna de água e reduções na velocidade. Por outro lado, nos sectores em que o canal fluvial é mais estreito, o escoamento atinge velocidades mais elevadas e a sua altura de água é inferior.

Confirmou-se que a associação entre estas duas componentes pode ser pouco significativa em situações de cheia. Porém, os resultados alcançados demonstraram que valores baixos e médios de altura de água tendem a ser acompanhados por velocidades baixas e médias. Esta relação só se quebra quando se atingem valores muito elevados, em que uma das componentes deixa de atingir valores proporcionalmente tão altos. Nos troços em que se atingem as maiores alturas de água assiste-se à perda da velocidade do escoamento, enquanto nos locais em que a velocidade é mais elevada a altura de água tende a não atingir valores tão significativos.

A altura de água e a velocidade do escoamento são os dois principais factores a influenciar a perigosidade às cheias rápidas. A matriz definida a partir da intensidade destas duas componentes, possibilitou a determinação da perigosidade no troço modelado da bacia de Barcarena. Como seria expectável os locais em que a perigosidade é mais elevada encontram-se, maioritariamente, ao longo dos canais fluviais. As áreas de perigosidade moderada e reduzida tendem a afastar-se do talvegue à medida que o período de retorno aumenta, adquirindo maior expressão quando a água extravasa o leito menor, inundando as margens da ribeira de Barcarena. As alturas de água e as velocidades do escoamento são naturalmente mais baixas nesses locais e, por isso, a perigosidade é também inferior comparativamente ao que sucede ao longo dos canais fluviais.

As áreas inundáveis obtidas e os locais em que se atingem velocidades elevadas estão, de uma forma genérica, em conformidade com o conhecimento do terreno e com os elementos utilizados para a validação dos resultados. Subsistem ainda assim alguns pontos fracos relacionados com as limitações próprias de um modelo 1D como o *HEC-RAS*, com a exportação para ambiente SIG e a espacialização das áreas inundáveis executada pelo *HEC-GeoRAS* e com os dados de base. Importa referir que o elevado detalhe dos dados de altimetria (escala 1:2000 e pontos cotados) é suficiente para a realização de modelação hidráulica, mas não isenta o modelo de erros. É crível que os dados adquiridos através da tecnologia LiDAR permitiriam melhorar a qualidade dos resultados e reduzir a sua incerteza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - CAPÍTULO 8

- Antunes, C.R., Coutinho, M.A., 2011. A Água no Ordenamento do Território, in: VII Congresso Ibérico Sobre Gestão e Planeamento Da Água. Toledo, pp. 1–8.
- Brandão, C., Rodrigues, R., Costa, J.P., 2001. Análise de fenómenos extremos: precipitações intensas em Portugal Continental. Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos, Lisboa.
- Carvalho, R., 1998. Hidrologia e Recursos Hídricos, vol.1 - O Ciclo Natural da Água. Estúdios Cor, S.A., Lisboa.
- Chow, V. Te, 1959. Open-Channel Hydraulics. Mc-Graw-Hill, New York.
- Chow, V. Te, Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. Applied Hydrology. Mc-Graw-Hill.
- CMO, 2011. Estudo Hidrológico e Hidráulico das bacias Hidrográficas de Oeiras para elaboração de carta de zonas inundáveis de acordo com Decreto-Lei n.º 115/2010. Volume 4 - Caracterização hidrológica e hidráulica das cheias na ribeira de Barcarena. Câmara Municipal de Oeiras, Município E.M, S.A.
- Cook, A., Merwade, V., 2009. Effect of topographic data , geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. J. Hydrol. 377, 131–142. doi:10.1016/j.jhydrol.2009.08.015
- Correia, F.N., 1984. Proposta de um método para a determinação de caudais de cheia em pequenas bacias naturais e urbanas. I.T.H. 6, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Costa, A.C., 2009. Aplicação do modelo SWAT ao estudo hidrológico das bacias da costa do Estoril. Dissertação de mestrado integrado em Engenharia do Ambiente, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, L., Llorente-Isidro, M., 2009. A Handbook on Flood Hazard Mapping Methodologies. Geological Survey of Spain, Madrid.
- Gibson, S.A., Pasternack, G.B., 2016. Selecting Between One-Dimensional and Two-Dimensional Hydrodynamic Models for Ecohydraulic Analysis. River Res. Appl. 32, 1365–1381. doi:10.1002/rra.2972
- Jacinto, R., Grosso, N., Reis, E., Dias, L., Santos, F.D., Garrett, P., 2015. Continental Portuguese Territory Flood Susceptibility Index – contribution to a vulnerability index. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 15, 1907–1919. doi:10.5194/nhess-15-1907-2015
- Kreibich, H., Piroth, K., Seifert, I., Maiwald, H., Kunert, U., Schwarz, J., Merz, B., Thieken, A.H., 2009. Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling? Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 9, 1679–1692. doi:10.5194/nhess-9-1679-2009
- LNEC, 1984. Serviço de Planeamento SP 12/84 – Cálculo dos caudais de cheia da Ribeira de Barcarena para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Câmara Municipal de Oeiras.
- LNEC, 2009. Carta Preliminar das Zonas de Risco de Cheia à escala 1:500 000. Relatório R142/90-NHHF, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Loureiro, J.M., 1984. Expressão para o Cálculo do Caudal de Cheia em Cursos de Água de Portugal. Recur. Hídricos 5, 53–78.
- Lúcio, C., 2014. Análise do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Rio de Loures e modelação da sua susceptibilidade a cheias. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa.

- Madrugá, L., 2013. Análise do escoamento na bacia hidrográfica da estação hidrométrica de Couto de Andreiros com recurso a sistemas de informação geográfica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Marco, J.B., 1994. Flood risk mapping, in: Rossi, G., Harmancioğlu, N., Yevjevich, V. (Eds.), *Coping with Floods*. NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences), vol 257. Springer, Dordrecht, pp. 353–373. doi:10.1007/978-94-011-1098-3_20
- Merz, B., Thieken, A.H., Gocht, M., 2007. Flood risk mapping at the local scale: Concepts and challenges. *Adv. Nat. Technol. Hazards Res.* 25, 231–251. doi:10.1007/978-1-4020-4200-3_13
- Penning-Rowsell, E., Johnson, C., Tunstall, S., Tapsell, S., Morris, J., Chatterton, J., Green, C., 2005. *The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Handbook of Assessment Techniques*. Middlesex University Press. doi:10.1596/978-0-8213-8050-5
- Portela, M.M., Marques, P., Carvalho, F.F., 2000. Hietogramas de projecto para a análise de cheias baseada no modelo do hidrograma unitário do Soil Conservation Service (SCS), in: 5º Congresso Da Água. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, pp. 1–17.
- Portela, M.M., Dias, A.T., 2003. Regionalização de caudais de cheia em Portugal Continental. http://www.civil.ist.utl.pt/~mps/Mod_hid/Bibliografia/artigo%20regionalizacao.pdf.
- Ramos, C., 2009. Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território. Núcleo de Investigação em Sistemas Litorais e Fluviais: Dinâmicas, Mudanças Ambientais e Ordenamento do Território (SLIF – 6), Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Reis, E., 2011. Análise de bacias hidrográficas, susceptibilidade à ocorrência de cheias e Sistemas de Informação Geográfica: da definição do quadro conceptual até à proposta de um modelo de avaliação, in: VIII Congresso Da Geografia Portuguesa. Associação Portuguesa de Geógrafos, Lisboa, CD-ROM - SIG-130-598-2.
- Santos, P.P., 2009. Cartografia de áreas inundáveis a partir do método de reconstituição hidrogeomorfológica e método hidrológico-hidráulico. Estudo comparativo na bacia hidrográfica do Rio Arunca. Dissertação de Mestrado em Geociências, área de Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Santos, P.P., Reis, E., 2017. Assessment of stream flood susceptibility: a cross-analysis between model results and flood losses. *J. Flood Risk Manag.* 11, 1038–1050. doi:10.1111/jfr3.12290
- Smith, K., 1991. *Environmental Hazards: assessing risk and reducing disaster*. Routledge.
- Torres, A.P.T., 2018. As “gotas de ar frio” que inundaram a Grande Lisboa. Memórias das cheias de Novembro de 1967. O concelho de Oeiras.
- USACE, 2000. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual*. U.S. Army Corps of Engineers.
- USACE, 2009. *HEC-GeoRAS: GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS. User’s Manual*. U.S. Army Corps of Engineers.
- USACE, 2010. *HEC-RAS - River Analysis System User’s Manual*. U.S. Army Corps of Engineers.
- USACE, 2016. *HEC-RAS, River Analysis System - Hydraulic Reference Manual*. U.S. Army Corps of Engineers.
- Viessman, W., Lewis, G.L., 1996. *Introduction to Hydrology*, Fourth. ed. HarperCollins College Publishers, New York.
- Zimmermann, M., Pozzi, A., Stoessel, F., 2005. *VADEMECUM. Hazard maps and related instruments. The Swiss system and its application abroad. Capitalisation of experience*. PLANAT, the Swiss National Platform Natural Hazards, Swiss Agency for Development and Cooperation, Bern.

doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2

CAPÍTULO 9

EXPOSIÇÃO, VULNERABILIDADE E DANOS POTENCIAIS DAS CHEIAS RÁPIDAS NA BACIA DE BARCARENA

O nono e último capítulo dá continuidade aos resultados alcançados no capítulo 8. Para a mesma área de estudo procura-se agora avaliar as restantes componentes do risco às cheias rápidas. Depois de conhecidas as áreas inundáveis e as características do escoamento fluvial em situações de cheia naquele sector da bacia hidrográfica de Barcarena, é possível determinar quais os elementos expostos e estimar como podem ser afectados por este fenómeno natural. Os edifícios presentes na área de estudo representam o elemento fundamental desta análise e, por isso, a investigação desenvolvida centra-se na dimensão estrutural ou física do risco.

Este capítulo subdivide-se em três secções: 1) exposição; 2) vulnerabilidade; e 3) valor e danos potenciais. Numa primeira fase, são identificados os edifícios expostos através do seu cruzamento com as áreas inundáveis delimitadas para vários períodos de retorno. A exposição contempla ainda a função dos edifícios expostos, de modo a compreender quais as actividades que podem estar expostas naquele sector da bacia. A função e a utilização dos edifícios permitem também determinar a exposição temporal às cheias rápidas, reconhecendo qual o seu grau de exposição em diferentes momentos da semana ou do dia. Numa segunda fase, procura-se avaliar a vulnerabilidade estrutural dos edifícios expostos. Esta avaliação resulta da combinação entre a vulnerabilidade intrínseca dos edifícios, que considera as características físicas que lhes conferem um determinado grau de resistência quando ocorrem cheias rápidas, e a magnitude do processo natural, avaliada pelas características mais relevantes do escoamento fluvial. Na última fase, são estimados o valor económico dos edifícios expostos e os danos potenciais. Trata-se apenas de danos potenciais, obtidos através do valor económico dos edifícios e da sua vulnerabilidade estrutural, e não de danos reais, uma vez que esses dados não existem para a área de estudo. Diga-se que a inexistência de valores referentes aos danos ocorridos no passado inviabiliza a determinação do risco às cheias rápidas no sector estudado da bacia de Barcarena.

9.1. RECOLHA E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

9.1.1. Enquadramento e implicações dos conceitos na metodologia

A exposição e a vulnerabilidade às cheias rápidas na área de estudo foram determinadas, em grande medida, em função dos resultados da perigosidade obtidos no capítulo 8. A quantidade de elementos expostos, a forma como são afectados e os potenciais danos sofridos dependem muito das áreas inundáveis e das características do escoamento, nomeadamente, da altura de água, velocidade e carga sólida transportada. Dos elementos potencialmente expostos, consideraram-se apenas os edifícios, sendo apenas analisada a dimensão estrutural/física da vulnerabilidade.

A multiplicidade de definições, a ausência de uniformização na terminologia utilizada e alguma sobreposição na abrangência dos conceitos de exposição e vulnerabilidade ficaram patentes no capítulo 6. A compreensão dos termos é fundamental para os objectivos da investigação, a escolha das metodologias a adoptar e os resultados que se pretende alcançar. Como tal, é necessário esclarecer qual o entendimento das duas componentes do risco nesta dissertação.

No caso da exposição, a definição adoptada coincide com a da maioria dos autores, remetendo para o conjunto de elementos potencialmente expostos e afectáveis (neste caso, edifícios e outras estruturas) em resultado de uma cheia rápida. Entende-se a vulnerabilidade como a combinação entre a predisposição dos elementos expostos para sofrerem danos (vulnerabilidade intrínseca) e a magnitude do processo natural. Neste contexto, a vulnerabilidade estrutural depende não só das características dos edifícios expostos, mas também do evento de cheia. A vulnerabilidade tende, assim, a aumentar com o incremento da magnitude e do período de retorno das cheias. Por sua vez, o aumento da intensidade induz a ampliação da erosão, pressão, turbulência entre outros efeitos nos edifícios (Kelman e Spence, 2004; Papathoma-Köhle *et al.*, 2011), afectando-os de forma distinta consoante a sua resistência.

9.1.2. Avaliação da exposição às cheias rápidas

A aferição da exposição resulta do cruzamento entre as áreas inundáveis e os edifícios existentes no território. Numa primeira fase, foi empreendida para o sector estudado da bacia de Barcarena uma análise que, por norma, se efectua a uma escala menor do que a escala local, mas que permite enquadrar a avaliação mais detalhada que é realizada mais adiante. Trata-se da intersecção entre as áreas inundáveis associadas aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos e a ocupação do solo, representado pela COS 2010 (nível 5).

De seguida, empreendeu-se uma análise mais fina com o objectivo de identificar os edifícios expostos na área de estudo. Recorde-se que o levantamento e georreferenciação dos edifícios já tinham sido realizados anteriormente, através dos ortofotomapas cedidos pela Câmara Municipal de

Oeiras. Nesta fase, consideraram-se apenas aqueles que estão, de facto, expostos em resultado de eventos de cheia com períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Com recurso a trabalho de campo foi possível identificar outros aspectos ligados à exposição dos edifícios: 1) a ocupação, reconhecendo quais estão ocupados e quais estão abandonados; 2) a utilização, sabendo qual a frequência do uso dos edifícios; e 3) a função, identificando quais são utilizados para habitação, indústria, comércio, serviços, educação, etc.. A propósito da utilização dos edifícios, a sua verificação foi efectuada com idas ao local em dias úteis e aos fins-de-semana em diferentes períodos do dia.

Apesar da exposição de um edifício enquanto elemento estrutural/físico não se modificar no tempo, a exposição desse edifício enquanto elemento social não é sempre a mesma. Nesta perspectiva, a exposição pode resultar da combinação entre a função dos edifícios, a sua utilização por parte dos residentes/utilizadores e o período do dia ou da semana em que uma cheia ocorre. Trata-se, assim, de uma avaliação de cariz social e temporal, elaborada em moldes semelhantes à efectuada por Camarasa-Belmonte *et al.* (2011). Foram definidos três cenários distintos: 1) período diurno (dias úteis); 2) período diurno (fins-de-semana e feriados); e 3) período nocturno. A exposição de cada edifício nestes três períodos temporais foi classificada como: 1) nula ou reduzida; 2) moderada; 3) elevada; ou 4) muito elevada. Assumiu-se que nos dias úteis durante o período diurno a maioria das pessoas encontra-se no seu local de trabalho ou na escola, no entanto, o trabalho de campo realizado na área de estudo confirmou a presença regular de reformados ou desempregados nas habitações. No período nocturno e no período diurno aos fins-de-semana e feriados a exposição às cheias aumenta nos edifícios residenciais, fruto da presença de um maior número de residentes. Ainda assim, considerou-se que o período nocturno é o mais crítico nos edifícios destinados à habitação, já que o período diurno aos fins-de-semana e feriados pode ser aproveitado para a realização de actividades fora de casa. Os restantes edifícios presentes na área de estudo (industriais, logísticos e institucionais/educação) assumem uma lógica inversa à dos edifícios residenciais, pois a sua ocupação ocorre, essencialmente, nos dias úteis e durante o horário laboral. Deste modo, estes apresentam exposição elevada no período diurno dos dias da semana e exposição nula ou reduzida durante a noite e aos fins-de-semana e feriados. O grau de exposição dos edifícios nos períodos temporais considerados está sintetizado na tabela 9.1. Importa ainda referir que esta classificação não deve ser generalizada sem critério a outras áreas, uma vez que o tipo de ocupação efectuada por parte dos residentes/utilizadores pode diferir de forma substancial.

Ainda no que respeita à exposição, foi determinado o perímetro potencialmente exposto (PPE) em ambiente SIG. Este indicador representa a porção do edifício que está potencialmente exposta a cheias e que, no máximo, será igual ao perímetro do edifício. Quando o PPE é inferior ao perímetro, isso significa que existem elementos contíguos a esse edifício (exemplo: outros edifícios) e que não

permitem que este seja completamente rodeado por uma cheia. Note-se que este indicador não está relacionado com as áreas inundáveis, pois não avalia a porção afectada em resultado de um evento de cheia com uma determinada magnitude/período de retorno.

Tabela 9.1 Exposição temporal dos edifícios na área de estudo consoante a sua função e o período do dia/semana.

	Exposição durante o período diurno		Exposição durante o período nocturno
	Dias úteis	Fins-de-semana e feriados	
Habitação	Moderada	Elevada	Muito elevada
Indústria/logística	Muito elevada	Nula ou reduzida	Nula ou reduzida
Institucional/educação	Muito elevada	Nula ou reduzida	Nula ou reduzida

9.1.3. Avaliação da vulnerabilidade estrutural às cheias rápidas

A avaliação da vulnerabilidade estrutural dos edifícios expostos no sector estudado da bacia de Barcarena foi determinada através de uma metodologia com base em indicadores. Embora esta abordagem seja mais comum na vertente socioeconómica, a ausência de dados empíricos relativos aos danos provocados pelas cheias rápidas naquele sector da bacia justifica a escolha desta metodologia na dimensão estrutural. Por outro lado, as características dos elementos expostos, e que os tornam mais ou menos vulneráveis aos fenómenos naturais, são frequentemente esquecidas na avaliação do risco (Papathoma-Köhle, 2016). Ainda assim, nos últimos anos, a utilização de metodologias com base em indicadores tem-se tornado mais comum na aferição da resistência dos edifícios em situações de cheias e movimentos de vertente (e.g. Müller *et al.*, 2011; Kappes *et al.*, 2012; Silva e Pereira, 2014; Stephenson e D'Ayala, 2014; Guillard-Gonçalves *et al.*, 2016; Papathoma-Köhle, 2016; Papathoma-Köhle *et al.*, 2019).

No contexto desta dissertação, a vulnerabilidade estrutural resulta da combinação entre a vulnerabilidade intrínseca dos edifícios e a magnitude dos eventos de cheia. A primeira componente é constante e a segunda varia em função da recorrência da cheia. A possibilidade de cruzar as características dos edifícios e do fenómeno natural e de considerar diversos parâmetros é algo que também propicia o recurso a uma metodologia com base em indicadores. Ainda assim, a escolha deste tipo de metodologia exige a consciência das suas limitações, incertezas e desafios inerentes à sua utilização, dos quais se destacam: 1) a selecção das variáveis mais apropriadas para representar as fontes de vulnerabilidade numa área específica; 2) a determinação da importância de cada indicador e a sua standardização; 3) a forma de agregação e combinação das variáveis num índice de vulnerabilidade; 4) a disponibilidade de dados para analisar e avaliar essas variáveis; e 5) a validação dos resultados obtidos (Barnett *et al.*, 2008; Müller *et al.*, 2011).

A primeira etapa na construção de um índice de vulnerabilidade passa pela escolha dos indicadores e pela disponibilidade e/ou capacidade de recolha de dados referentes a essas variáveis.

Como foi referido no capítulo 6, os indicadores mais relevantes para os diversos fenómenos naturais são genericamente aceites pela comunidade científica. Apesar disso, a determinação da sua relevância está, até certo ponto, dependente das especificidades do local afectado e das características do fenómeno perigoso (Müller *et al.*, 2011; Kappes *et al.*, 2012). A importância é aferida através da atribuição de ponderações ou pesos às variáveis consideradas, algo que representa o passo mais sensível da elaboração do índice de vulnerabilidade (Papathoma-Köhle *et al.*, 2019) e que mais pode estar sujeito a subjectividade (Cutter *et al.*, 2010; Jha *et al.*, 2012; Stephenson e D'Ayala, 2014). Mais tarde, é necessário tornar comparáveis os valores de cada um deles através de um processo que pode ser designado como padronização, embora, este não configure, por norma, a típica normalização de valores. Na verdade, o processo mais usual consiste na atribuição de *scores* às diversas categorias ou valores considerados em cada variável, em função da sua vulnerabilidade.

Sendo uma ferramenta útil sobretudo à escala local (Barnett *et al.*, 2008), a recolha da informação tem de ser efectuada com recurso a trabalho de campo, analisando e compilando de modo detalhado as características de cada edifício exposto, algo que exige uma dose considerável de tempo (Papathoma-Köhle, 2016). A validação do índice de vulnerabilidade pode ser efectuada com recurso às consequências verificadas em eventos passados, permitindo a sua calibração posterior através dos danos que venham a ocorrer no futuro (Papathoma-Köhle *et al.*, 2019). Todavia, na maioria dos estudos realizados, os indicadores são ponderados de forma empírica e não é efectuada qualquer validação referente à sua selecção e ponderação (Papathoma-Köhle, 2016). Apesar dos resultados obtidos comportarem sempre alguma incerteza, as metodologias com base em indicadores são um instrumento de utilização simples, flexível e que pode ser aplicada por diversos utilizadores, entre os quais os decisores e responsáveis pela gestão do território (Barroca *et al.*, 2006; Balica *et al.*, 2009).

Para o sector estudado da bacia de Barcarena foi desenvolvido um índice de vulnerabilidade estrutural (IVE), que resulta da combinação entre vários indicadores que influenciam a resistência dos edifícios. As variáveis escolhidas e as respectivas ponderações foram seleccionadas, essencialmente, com base na bibliografia, contudo também foi tido em consideração o fenómeno natural em causa (cheias rápidas) e o conhecimento de campo. Refira-se que as ponderações utilizadas em trabalhos científicos são atribuídas por especialistas, cuja opinião é sustentada por vários anos de experiência. Quando não existiam elementos que permitissem concluir que uma determinada variável tem mais importância do que outra, optou-se por atribuir pesos iguais, tal como sugerem Rød *et al.* (2015) e Karagiorgos *et al.* (2016). O modelo de avaliação da vulnerabilidade utilizado na área de estudo está estruturado em três níveis, apresentados por ordem decrescente de importância, e foi aplicado a todos os edifícios expostos na área estudo, com excepção dos edifícios abandonados (figura 9.1).

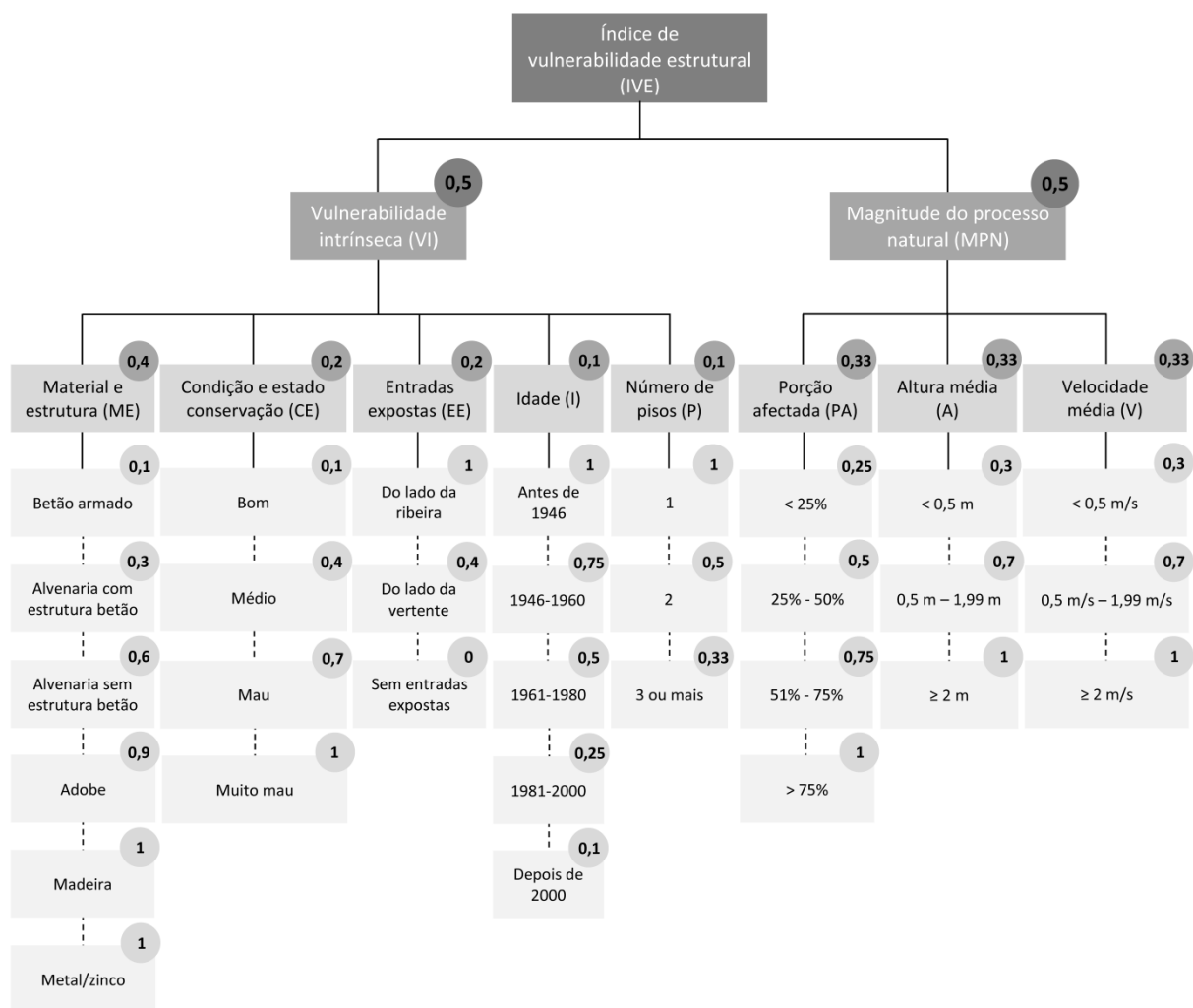


Figura 9.1 Modelo de avaliação da vulnerabilidade estrutural no sector estudado da bacia de Barcarena. Adaptado de Kappes *et al.* (2012).

O primeiro nível exprime o entendimento do conceito de vulnerabilidade nesta dissertação, em que a vulnerabilidade estrutural resulta da combinação entre a vulnerabilidade intrínseca (VI) e a magnitude do processo natural (MPN), neste caso as cheias rápidas. Não sendo possível afirmar qual delas pesa mais na vulnerabilidade dos edifícios, decidiu-se atribuir ponderações iguais (0,5). Quando a MPN é nula, ou seja, nos casos em que um edifício não está exposto a um evento de cheia com um dado período de retorno, o IVE é também nulo. O IVE é calculado através da seguinte expressão:

$$IVE = (0,5 \times VI) + (0,5 \times MPN)$$

IVE = índice de vulnerabilidade estrutural; VI = vulnerabilidade intrínseca; MPN = magnitude do processo natural.

O segundo nível é composto pelas características consideradas mais relevantes dos edifícios expostos e do processo natural, neste caso das cheias rápidas (figura 9.1).

A VI sugere que nem todos os edifícios expostos são igualmente susceptíveis ao impacto e aos efeitos de um determinado fenómeno natural (Papathoma-Köhle *et al.*, 2019). No caso das cheias

rápidas na bacia de Barcarena, a VI é avaliada por cinco indicadores considerados como os mais importantes neste contexto (figura 9.1): material de construção e estrutura (ME); condição e estado de conservação (CE); entradas expostas (EE); idade (I); e número de pisos (P).

Com base em diversos estudos (e.g. Fuchs *et al.*, 2007; Müller *et al.*, 2011; Silva e Pereira, 2014; Guillard-Gonçalves *et al.*, 2016; Karagiorgos *et al.*, 2016), considerou-se o material de construção e a estrutura dos edifícios como a variável mais importante neste contexto. Este factor determina a fragilidade física, a resistência ao impacto e grande parte da propensão para sofrer danos na estrutura do edifício (Müller *et al.*, 2011; Stephenson e D'Ayala, 2014). O grau de absorção de humidade dos materiais de construção em situações de cheia também pode ter influência nos danos a longo prazo (D'Ayala e Aktas, 2016). Apesar da vulnerabilidade social não ser aqui avaliada, a estrutura e os materiais dos edifícios podem ainda indiciar o nível socioeconómico da população residente (Müller *et al.*, 2011). Tendo em conta estas razões foi dado um peso de 0,4 a esta variável.

A condição e estado de conservação é o segundo indicador considerado, ao qual se decidiu atribuir uma ponderação de 0,2. Esta variável permite avaliar o tipo de edifício, as suas condições e o grau de degradação, sendo frequentemente referido como relevante na resistência e resiliência das estruturas quando afectadas por fenómenos naturais (Fedeski e Gwilliam, 2007; Kappes *et al.*, 2012; Silva e Pereira, 2014; Stephenson e D'Ayala, 2014; Papathoma-Köhle, 2016; Diakakis *et al.*, 2017). Na área de estudo este indicador tem uma relevância superior à expectável devido às características de alguns edifícios expostos que eram, originalmente, construções abarracadas e edificadas de forma precária. Mais tarde, as suas paredes exteriores (estruturais) foram sendo substituídas por paredes de alvenaria de tijolo, embora outras componentes do edifício se mantenham débeis na actualidade, como por exemplo as fundações deficientes ou os telhados em chapa, típicos de construções precárias. Não obstante o material de construção e a estrutura serem semelhantes às de outros edifícios expostos, este conjunto de edifícios possui uma maior vulnerabilidade intrínseca às cheias rápidas devido à sua condição e estado de conservação.

A terceira variável considerada é a existência de entradas expostas. Apesar do edifício poder ser afectado total ou parcialmente por um determinado processo natural, a sua vulnerabilidade intrínseca aumenta se existirem entradas expostas, como portas, janelas ou outras aberturas (Fedeski e Gwilliam, 2007; Fuchs *et al.*, 2007; Fuchs, 2009; Papathoma-Köhle, 2016). A existência de aberturas pode induzir a entrada de água e detritos. Em situações de cheia, a existência de entradas expostas pode contribuir de forma decisiva para o aumento dos danos no recheio do edifício/alojamento. A este indicador foi atribuído uma ponderação de 0,2.

A quarta variável é a idade do edifício que, em diversos estudos, é considerada muito relevante. No entanto, esta reveste-se de uma redundância considerável, já que é frequentemente utilizada para inferir o grau de degradação ou o tipo de construção dos edifícios (Fedeski e Gwilliam,

2007). Ora, grande parte destas informações já constam nas duas primeiras variáveis consideradas pela VI. Como tal, foi atribuída à idade uma ponderação de apenas 0,1.

A última variável com influência na VI é o número de pisos do edifício. Este indicador pode ser encarado sob diferentes perspectivas no âmbito da vulnerabilidade às cheias. A primeira considera o número de pisos enquanto exposição, em que quanto menos pisos um edifício tiver maior é a fracção afectada (Kappes *et al.*, 2012; Papathoma-Köhle, 2016). Neste caso, um edifício térreo que esteja exposto a uma cheia é afectado em 100% porque não existem pisos não expostos/afectados. Num edifício com 2 pisos, por norma, este estará exposto em 50%, algo que só não acontece quando existem caves ou nos (poucos) casos em que a água atinge o rés-do-chão e o 1º andar. A evacuação pode configurar outra perspectiva quando se considera o número de pisos, revelando uma lógica inversa à da exposição, em que, quanto maior o número de pisos, mais vulnerável será o edifício (Stephenson e D'Ayala, 2014). Isto deve-se ao facto da cheia poder afectar a porta de acesso ao prédio, impedindo a entrada ou saída dos habitantes e/ou equipas de socorro. Atendendo às características dos edifícios expostos na área de estudo e, como se considera apenas a dimensão estrutural da vulnerabilidade, optou-se pela primeira perspectiva (exposição). À variável número de pisos foi atribuída uma ponderação de 0,1.

A VI dos edifícios no sector estudado da bacia de Barcarena resulta da seguinte expressão:

$$VI = (0,4 \times ME) + (0,2 \times CE) + (0,2 \times EE) + (0,1 \times I) + (0,1 \times P)$$

VI = vulnerabilidade intrínseca; ME = material de construção e estrutura; CE = condição e estado de conservação; EE = entradas expostas; I = idade; P = número de pisos.

A MPN é aferida com recurso a três indicadores (figura 9.1): porção afectada dos edifícios (PA); altura média da água (A); e velocidade média do escoamento (V). Foram atribuídos pesos iguais a estas três variáveis (0,33), pois não é possível determinar qual delas tem maior relevância. Recorde-se que também para a avaliação da perigosidade às cheias na bacia de Barcarena foi dada a mesma relevância à altura de água e à velocidade (figura 8.4).

A porção afectada representa a fracção dos edifícios efectivamente afectada pelas cheias. Na maioria das situações, um edifício não fica rodeado por inteiro pela inundação, quer porque a área inundável não afecta todas as fachadas ou porque existem edifícios contíguos. Podem existir casos em que uma das fachadas do edifício contacta de forma directa com a água, mesmo sem ser em situações de cheias. Isto sucede quando essa fachada corresponde, simultaneamente, a uma parede estrutural do edifício e a uma parede do canal fluvial. Nessas situações, essa porção não deve ser contabilizada como PPE nem como porção afectada, dado que essa fachada foi construída de modo a suportar os efeitos do escoamento e do contacto frequente com a água. Quanto maior a fracção afectada, maior será a vulnerabilidade de um edifício. A porção afectada será, no máximo, igual ao PPE.

A influência e importância da altura da água e da velocidade já foram descritas e discutidas nos capítulos 6 e 8, sendo os factores mais relevantes do escoamento fluvial em episódios de cheia. No âmbito da avaliação da vulnerabilidade consideraram-se os valores médios destes dois indicadores. Estes resultam da média dos valores referentes às células adjacentes aos edifícios expostos, obtidos através da modelação hidráulica realizada no capítulo anterior. Quanto mais elevados forem os valores médios, maior será a vulnerabilidade dos edifícios.

A avaliação da MPN em diferentes períodos de retorno e a sua influência nos edifícios expostos no sector estudado da bacia de Barcarena foram obtidas com recurso à seguinte expressão:

$$MPN = (0,33 \times PA) + (0,33 \times A) + (0,33 \times V)$$

MPN = magnitude do processo natural; PA = porção afectada do edifício; A = altura média da água; V = velocidade média do escoamento.

O terceiro e último nível do modelo de avaliação da vulnerabilidade contempla as categorias de cada variável utilizada para determinar a VI e a MPN (figura 9.1). Para as várias categorias foi atribuído um *score* a cada edifício, em função do seu grau de vulnerabilidade.

No que respeita ao material de construção e estrutura dos edifícios expostos foram consideradas seis categorias: betão armado; alvenaria com estrutura de betão; alvenaria sem estrutura de betão; adobe; madeira; e metal/zinco (figura 9.1). A concessão dos *scores* de vulnerabilidade teve por base os valores atribuídos por Kappes *et al.* (2012), Silva e Pereira (2014), Stephenson e D'Ayala (2014), Guillard-Gonçalves *et al.* (2016) e Papathoma-Köhle (2016). Um edifício construído totalmente em betão armado é o menos vulnerável ou mais resistente às cheias, por isso, o seu *score* é 0,1. Os edifícios com estrutura de betão e paredes de alvenaria (de pedra ou tijolo) passaram a ser os mais comuns nas áreas urbanas em Portugal a partir das décadas de 50/60, sendo-lhes atribuído um *score* de 0,3. Aos edifícios em que as paredes estruturais são em alvenaria, ou seja, não têm estrutura de betão foi dado um *score* de 0,6. Restam os construídos com materiais menos resistentes como adobe (0,9), madeira (1) ou metal/zinco (1).

Quanto à condição e estado de conservação, os edifícios foram classificados em bom, médio, mau e muito mau, aos quais foram atribuídos de forma equitativa os *scores* de 0,1; 0,4; 0,7; e 1, respectivamente (figura 9.1). Em primeiro lugar, é necessário avaliar a tipologia do edifício. Quando a sua função é habitacional, há que distinguir se se trata de um edifício clássico ou de um alojamento não clássico. Segundo a definição do Instituto Nacional de Estatística (INE), um edifício clássico é aquele cuja estrutura e materiais empregues têm um carácter não precário e duração esperada de pelo menos 10 anos. Um alojamento não clássico é aquele que não satisfaz inteiramente as condições do alojamento familiar clássico pelo tipo e precariedade da construção, porque é móvel, improvisado e não foi construído para habitação, mas funciona como residência habitual de pelo menos uma família. Decidiu-se atribuir um *score* de 1 (condição/estado de conservação muito mau) aos

edifícios/alojamentos que se encaixam nesta categoria. Para além da tipologia, importava considerar o estado da estrutura ou das paredes estruturais dos edifícios, seguindo-se as indicações utilizadas pelos recenseadores aquando da realização dos Censos 2011 (INE, 2011). Quando os edifícios não possuem fissuras ou apresentam poucas fissuras em poucos locais, considerou-se que a condição e o estado de conservação é bom. Aqueles que contabilizam pequenas fissuras frequentes ou descasque/sinais de corrosão nos elementos de betão foram classificados como tendo condição e estado de conservação médio. Os classificados como apresentando condição e estado de conservação mau possuem fendilhação de média espessura em alguns pontos e/ou áreas com armaduras à vista e com corrosão. Por fim, os edifícios em condição e estado de conservação muito mau apresentam uma ou várias das seguintes condições: 1) ocorrência de assentamentos diferenciais das fundações (aberturas de portas e janelas distorcidas); 2) estrutura de fachada desaprumada ou fissuração superior a 5 mm em mais de um local; 3) pilares desaprumados ou vigas ou lajes com deformação elevada; e/ou 4) fendilhação grande em elementos de betão armado e em mais de um local.

Para a terceira variável da VI importava saber se existem entradas expostas e, caso existam, se se encontram do lado da ribeira ou do lado da vertente (figura 9.1). Quando um edifício não tem entradas expostas ou quando estas se situam acima da altura estimada da coluna de água para o período de retorno mais elevado (100 anos), tal implica que a sua vulnerabilidade, no que respeita a esta variável, é nula (0). Quando existem entradas expostas, os *scores* de vulnerabilidade foram atribuídos numa lógica inversa à utilizada por Papathoma-Köhle (2016) para as escoadas, compreensível em função da natureza dos fenómenos perigosos em causa. Assim, a existência de entradas expostas do lado da ribeira implica a atribuição do *score* 1, já que é aí que o escoamento atinge os valores mais elevados de altura de água e velocidade. Quando a cheia afecta apenas as outras fachadas dos edifícios, o *score* diminui para 0,4.

Relativamente à idade dos edifícios, as categorias foram estipuladas tendo por base as classes definidas pelo INE e os *scores* atribuídos de modo equitativo (figura 9.1): antes de 1946 (1); 1946-1960 (0,75); 1961-1980 (0,5); 1981-2000 (0,25); e depois de 2000 (0,1).

No que diz respeito ao número de pisos, os *scores* foram atribuídos conforme a percentagem exposta de cada edifício (figura 9.1): um piso (1); dois pisos (0,5); e três ou mais pisos (0,33).

Nem todas as categorias existem na área de estudo, porém, optou-se pela sua inclusão no modelo apresentado na figura 9.1 para efeitos comparativos, para compreensão das ponderações atribuídas e para uma eventual utilização em outros trabalhos científicos realizados no âmbito da vulnerabilidade estrutural às cheias rápidas.

Depois de detalhadas as categorias das variáveis seleccionadas para estimar a VI dos edifícios, seguem-se as referentes aos indicadores de avaliação da MPN. A porção afectada foi discriminada em

quatro categorias às quais foram dados *scores* de vulnerabilidade equitativa: < 25% (0,25); 25-50% (0,5); 51-75% (0,75); e > 75% (1) (figura 9.1).

Quanto à altura média da água e à velocidade média do escoamento, foram seleccionadas três categorias cujos limiares são iguais aos utilizados na avaliação da perigosidade (figura 8.4). Até 0,5 m (altura) ou 0,5 m/s (velocidade) o *score* é de 0,3. Entre 0,5 m ou 0,5 m/s e 1,99 m ou 1,99 m/s o *score* é de 0,7. A partir de 2m ou 2m/s o *score* é de 1. Relembre-se que se está a avaliar a vulnerabilidade estrutural e não social, se assim não fosse, o valor a atribuir às duas primeiras categorias seria, certamente, mais elevado.

Definidas as variáveis com influência na vulnerabilidade estrutural dos edifícios, as categorias incluídas em cada uma delas e as respectivas ponderações e *scores* (figura 9.1), importa referir que as gamas de valores de VI, MPN e IVE diferem um pouco. Embora o valor máximo seja sempre '1', o valor mínimo pode ser distinto. Assim, um edifício cujas características físicas/estruturais lhe proporcionam a vulnerabilidade mais reduzida às cheias rápidas terá um valor de VI de 0,08, dado que seriam atribuídos *scores* de 0,1 às variáveis ME, CE, I e P, e de 0 (zero) à variável EE. No caso da MPN, o valor mínimo para um edifício exposto será de 0,28, porque os *scores* atribuídos às três variáveis consideradas seriam de 0,25 (PA), 0,3 (A) e 0,3 (V). Daqui resulta que o valor mínimo do IVE de um edifício exposto será de 0,18. Como tal, qualquer edifício exposto nunca terá vulnerabilidade nula (0).

9.1.4. Avaliação do valor económico dos edifícios expostos e dos danos potenciais

O valor económico (VE) dos edifícios expostos e que estão em funcionamento na área de estudo foi obtido através do custo de construção/reconstrução, da função do edifício e da sua localização. A metodologia utilizada neste capítulo é semelhante à aplicada por Silva e Pereira (2014), embora aqui a idade dos edifícios não seja considerada, uma vez que já foi incluída na avaliação do IVE, e este indicador será utilizado no cálculo dos danos potenciais (DP), como se verá mais adiante.

O custo de construção/reconstrução (CCR) de cada edifício resultou do produto entre o CCR por m² e a área do edifício. O município do Oeiras está integrado na Zona I, onde o CCR por m² dos imóveis para 2018 estava estipulado em 813,19 €. Este é o montante considerado pelas companhias de seguros para o pagamento das indemnizações em caso de sinistro. A área do edifício foi obtida através da multiplicação da área do polígono definido em *ArcGIS* pelo número de pisos.

A relevância da função e da localização dos edifícios foram aferidas de acordo com os valores estipulados no Decreto-Lei nº 287/2003. No que respeita à função, esta é classificada pelo coeficiente de afectação (CA): comércio (1,2); serviços (1,1); habitação (1); habitação social sujeita a regimes legais de custos controlados (0,7); armazéns e actividade industrial (0,6); e prédios não licenciados, em condições muito deficientes de habitação (0,45). O coeficiente de localização (CL) pode variar entre

0,35 (habitação dispersa em meio rural) e 3 (áreas com elevado valor de mercado imobiliário), modificando-se também consoante a função do edifício (habitação, comércio, indústria ou serviços). A fixação do CL tem em consideração a quantidade e qualidade das acessibilidades, a proximidade de equipamentos sociais, a existência de serviços de transportes públicos e a localização em áreas com elevado valor de mercado imobiliário. Os valores de CL para o território nacional, cuja última actualização foi efectuada pela Portaria nº 420-A/2015, podem ser consultados no Portal das Finanças da Autoridade Tributária e Aduaneira²². Toda a área de estudo está integrada no mesmo sector no que concerne ao CL, variando entre 1,7 para a habitação, 1,3 para serviços e 1,2 para comércio e indústria.

O VE dos edifícios expostos na área de estudo foi obtido através da seguinte expressão:

$$VE = CCR \times CA \times CL$$

VE = valor económico do edifício (em €); CCR = custo de construção/reconstrução (em €); CA = coeficiente de afectação; CL = coeficiente de localização.

Os DP nos edifícios expostos na área de estudo foram estimados para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Estes representam a consequência ou perdas expectáveis nos elementos expostos quando ocorre um fenómeno perigoso com uma dada magnitude (Julião *et al.*, 2009). Importa notar que, nesta investigação, os DP estimam unicamente os danos directos, não considerando os danos indirectos ou secundários. A sua avaliação resultou do produto entre o valor económico dos edifícios (VE) e a sua vulnerabilidade (IVE):

$$DP = VE \times IVE$$

DP = danos potenciais no edifício (em €); VE = valor económico do edifício (em €); IVE = índice de vulnerabilidade estrutural.

Não existindo valores (em €) referentes aos danos causados por cheias rápidas na área de estudo, não foi possível determinar o risco (total). Porém, os danos potenciais podem representar o risco potencial ou específico, que resulta do produto entre a perigosidade e a vulnerabilidade, tal como foi explicado no capítulo 6. Relembre-se que o IVE inclui a porção do edifício afectada pela cheia, assim como a altura de água e velocidade médias, ou seja, indicadores que avaliam o grau de perigosidade. Ainda assim, preferiu-se a designação de danos potenciais para não desvirtuar a ideia associada ao conceito de risco (potencial).

²² <https://zonamentopf.portaldasfinancas.gov.pt/simulador/default.jsp>.

9.2. EXPOSIÇÃO ÀS CHEIAS RÁPIDAS

9.2.1. Ocupação do solo

Iniciam-se os resultados deste capítulo com a aferição das várias categorias de ocupação do solo afectadas pelas áreas inundáveis para diversas recorrências (tabela 9.2 e figura 9.2). Apesar da escala da COS 2010 (1:25 000) não ser a mais indicada para avaliar a exposição às cheias rápidas à escala local, esta permite compreender as características gerais relativas à ocupação do território estudado.

Existem cinco categorias de ocupação do solo incluídas no nível 5 da COS 2010 que foram identificadas como afectadas na área de estudo: tecido urbano descontínuo esparso (TUDE); parques e jardins (PJ); sistemas culturais e parcelares complexos (SCPC); matos densos (MD); e florestas abertas de misturas de folhosas com resinosas (FAMFR). Em termos absolutos, a área ocupada por cada uma destas categorias aumenta com a expansão da superfície ocupada pelas áreas inundáveis, ou seja, com a diminuição da sua recorrência (tabela 9.2 e figura 9.2a). Os MD são os mais relevantes em todos os períodos de retorno, chegando a representar mais de metade das áreas inundáveis referentes a 2 anos. Com o aumento do período de retorno, os MD, tal como os SCPC e as FAMFR perdem importância relativa (tabela 9.2 e figura 9.2b). Em sentido inverso surge o TUDE, que cresce de 20% para 37% do total das áreas inundáveis entre os 2 e os 100 anos de período de retorno. Os PJ são apenas expostos nos eventos com recorrência de 100 anos, sendo a sua expressão espacial pouco significativa. Os números apresentados revelam uma realidade de certo modo expectável, em que, quanto maior a magnitude do processo natural, maior será a superfície afectada e a importância das áreas edificadas (TUDE). Isto é compreensível porque, as áreas destinadas à habitação, comércio, serviços ou indústria tendem a ser (mais) afectadas por eventos de cheia com maiores períodos de retorno face à sua localização, por regra, mais afastada dos canais fluviais. Mesmo que essas áreas estejam situadas em leitos de cheia, o escoamento fluvial nem sempre extravasa o leito menor na área de estudo, havendo, contudo, maior probabilidade de isso suceder nos eventos menos frequentes e com maior magnitude.

Tabela 9.2 Ocupação do solo nas áreas inundáveis para diferentes períodos de retorno.

Ocupação do solo	2 anos		5 anos		10 anos		20 anos		50 anos		100 anos	
	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%
TUDE	2850	20,2	4177	23,8	5216	26,6	6543	30,0	9237	35,7	10.263	36,9
PJ	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	46	0,2
SCPC	907	6,4	1083	6,2	1204	6,1	1315	6,0	1406	5,4	1480	5,3
MD	7337	52,0	8961	51,1	9727	49,6	10.443	47,9	11.575	44,8	12.314	44,3
FAMFR	3008	21,3	3316	18,9	3479	17,7	3517	16,1	3627	14,0	3722	13,4
Total	14.102	100	17.537	100	19.626	100	21.818	100	25.845	100	27.825	100

TUDE – tecido urbano descontínuo esparso; PJ – parques e jardins; SCPC – sistemas culturais e parcelares complexos; MD – matos densos; FAMFR – florestas abertas de misturas de folhosas com resinosas.

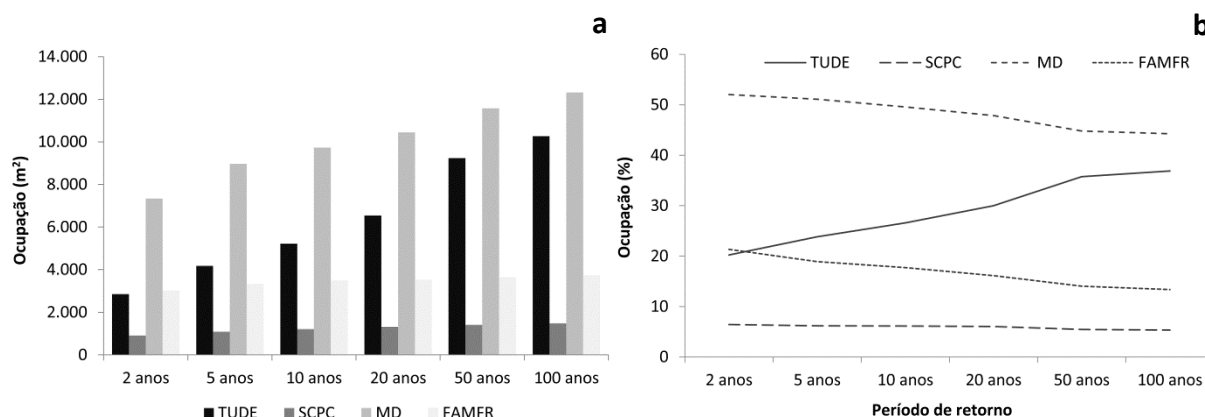


Figura 9.2 Ocupação do solo nas áreas inundáveis para diferentes períodos de retorno em valores absolutos (a) e relativos (b).

TUDE – tecido urbano descontínuo esparso; SCPC – sistemas culturais e parcelares complexos; MD – matos densos; FAMFR – florestas abertas de misturas de folhosas com resinosas.

9.2.2. Edifícios expostos

9.2.2.1. Inventário dos edifícios expostos

A partir deste ponto a exposição passará a ser analisada à escala do edifício, tornando-se, neste contexto, mais adequada e interessante. Como reconhecem Papathoma-Köhle *et al.* (2019), a existência de um inventário dos elementos potencialmente afectados é de extrema importância. No sector estudado da bacia de Barcarena foram identificados 26 edifícios expostos a um evento de cheia com o período de retorno máximo estimado (100 anos), dos quais 13 estão actualmente abandonados. Estes edifícios repartem-se por quatro áreas dispostas de montante para jusante (figuras 9.3 e 9.4): 1) área industrial do Bico; 2) Lugar do Bico; 3) Fábrica da Pólvora norte; e 4) Fábrica da Pólvora sul.

Estas quatro áreas, e algumas pequenas infra-estruturas hidráulicas (açudes e aquedutos) ainda hoje visíveis ao longo da ribeira de Barcarena, estão, directa ou indirectamente, ligadas à actividade industrial iniciada ainda no século XV. As primeiras instalações eram conhecidas como Ferrarias de Barcarena ou Ferrarias d’El Rey e eram destinadas ao fabrico de armas brancas (Quintela *et al.*, 2000). Já durante o reinado de D. Manuel I foram instalados moinhos de pólvora de pilões, mas a pólvora só iria adquirir maior relevância a partir de 1729, quando foi inaugurada a Real Fábrica da Pólvora, cujo edifício alberga actualmente o Museu da Pólvora Negra (Quintela *et al.*, 2000). Foram, entretanto, surgindo naquele sector da ribeira de Barcarena outras unidades de fabrico de pólvora, assim como outras instalações destinadas à produção de ferro, armas de fogo ou munições.

A instalação da Fábrica da Pólvora na ribeira de Barcarena entre Tercena e Barcarena está relacionada com a presença de um curso de água com capacidade para gerar força motriz hidráulica para accionar os mecanismos e equipamentos de produção (Quintela *et al.*, 2000). Por outro lado, as cheias neste sector foram sempre uma preocupação para os construtores das instalações da Fábrica da

Pólvora, daí a edificação de muros em cantaria para protecção dos edifícios e equipamentos (Quintela *et al.*, 2000). A capacidade erosiva da ribeira de Massamá era também encarada com alguma apreensão. Muitos anos depois, em resultado das consequências das cheias de 1967²³, o leito no seu troço final foi pavimentado para evitar a sua erosão, sendo, inclusivamente, colocados 14 almofarizes de calcário utilizados nos antigos moinhos de pólvora de pilões (figura 9.5), mais tarde recobertos por uma camada de betão.

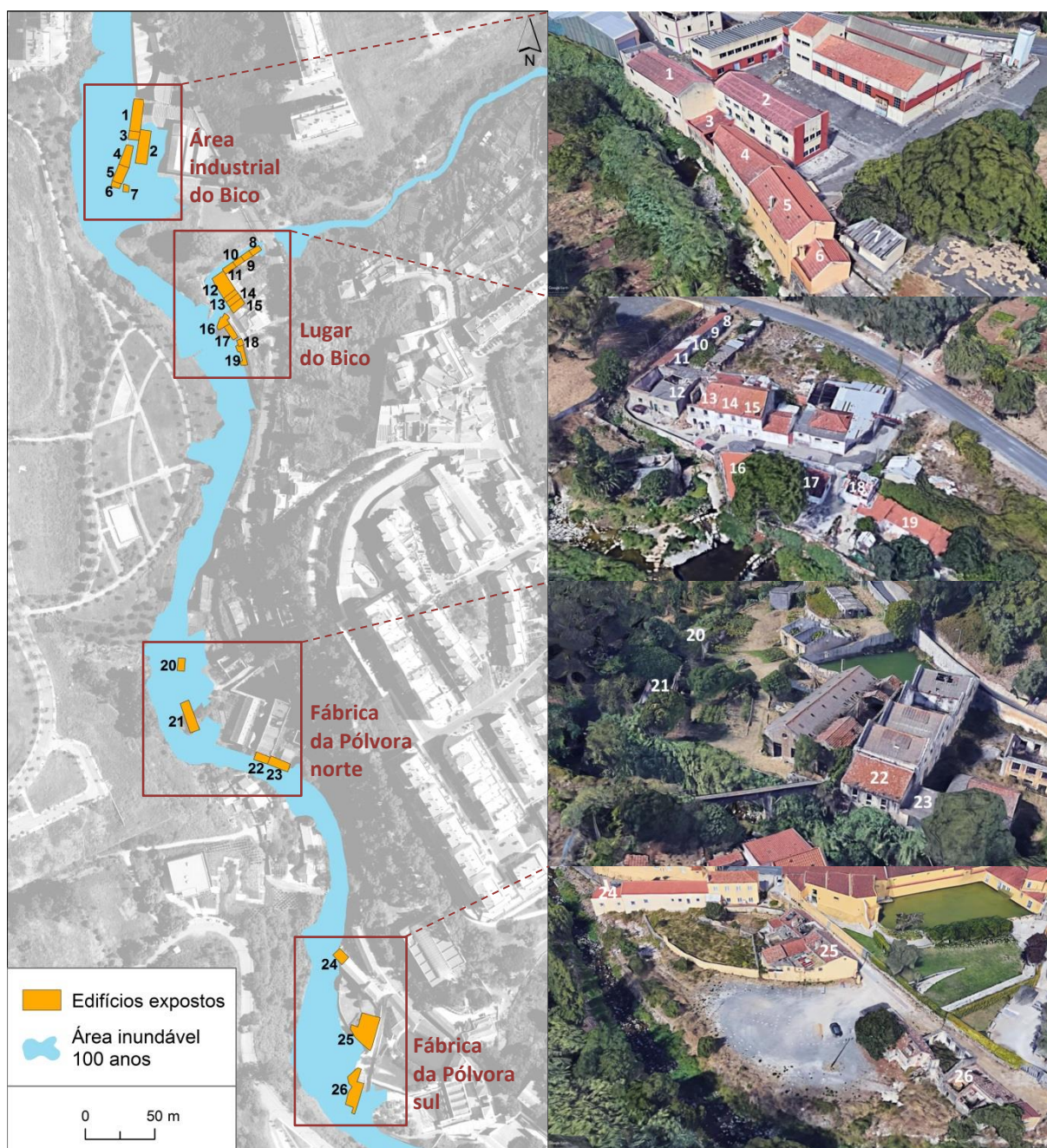


Figura 9.3 Localização dos edifícios expostos na área de estudo considerando um evento com período de retorno de 100 anos.
Fonte das imagens à direita: Google Earth.

²³ Alguns relatos sobre as cheias de 1967 na área de estudo podem ser lidos no anexo 4.

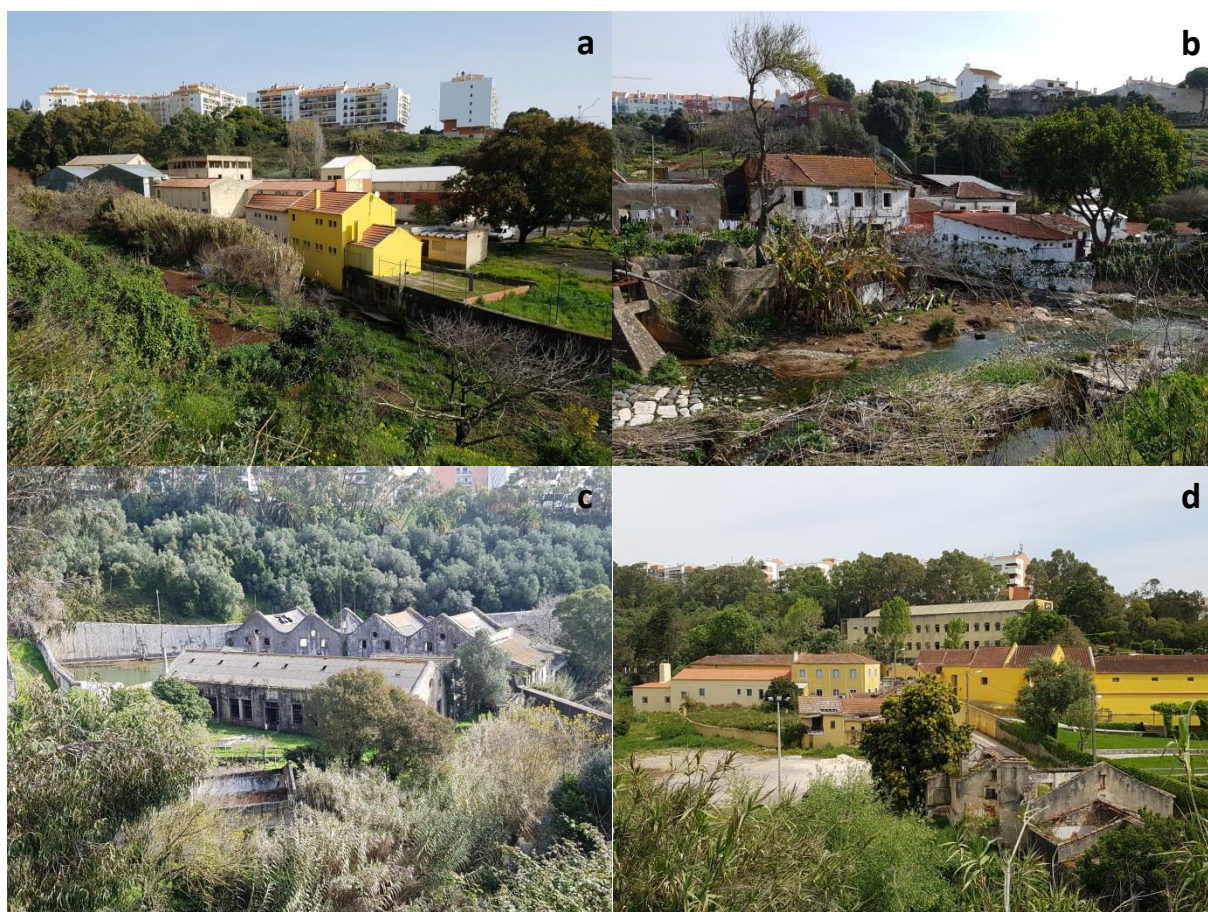


Figura 9.4 Áreas expostas às cheias rápidas no sector estudado da bacia de Barcarena: área industrial do Bico (a); Lugar do Bico (b); Fábrica da Pólvora norte (c); e Fábrica da Pólvora sul (d).



Figura 9.5 Confluência das ribeiras de Barcarena e de Massamá.

Nota: a fotografia à esquerda é uma reprodução fotográfica de uma prova antiga em papel, do arquivo da Câmara Municipal de Oeiras/Museu da Pólvora Negra, retirada de Quintela *et al.* (2000).

A área industrial do Bico (figura 9.4a) inclui sete edifícios expostos (numerados de 1 a 7 na figura 9.3) e localiza-se a montante da confluência entre as ribeiras de Barcarena e de Massamá. Trata-se, como a própria designação indica, de um espaço com diversos edifícios de cariz industrial, identificado no mapa militar de 1942 (folha 430) como Fábrica de Metal Portuguesa. Segundo o relato

de um habitante do Lugar do Bico, estas instalações passaram mais tarde a destinar-se ao fabrico de televisões. O Lugar do Bico (figura 9.4b), já referido no capítulo 8, é a única área exposta destinada à habitação, do qual fazem parte 12 edifícios expostos (numerados de 8 a 19 na figura 9.3). O conjunto inicial de edifícios, construídos em alvenaria de pedra e com dois pisos, destinavam-se aos trabalhadores das fábricas envolventes. Esta área residencial, localizada junto à confluência das ribeiras de Barcarena e de Massamá, viria, progressivamente, a expandir-se com a construção de habitações de carácter modesto e até precário. O Lugar do Bico sofre com frequência os efeitos das cheias, dos quais os eventos de 25-26 de Novembro de 1967 ou de 2 de Novembro de 2011²⁴ são apenas alguns exemplos. A terceira área ilustrada pelas figuras 9.3 e 9.4c corresponde à principal ampliação do complexo original da Fábrica da Pólvora, designada como “Fábrica de Cima”. Deste conjunto de edifícios abandonados apenas quatro estão expostos às cheias da ribeira de Barcarena (numerados de 20 a 23 na figura 9.3). A quarta e última área identificada faz parte do complexo original da Fábrica da Pólvora (figura 9.4d), também designada como “Fábrica de Baixo”, e é composta por três edifícios expostos (numerados de 24 a 26 na figura 9.3).

9.2.2.2. Ocupação, função e exposição temporal

Como se disse anteriormente, existem 26 edifícios expostos na área de estudo. Metade destes está abandonada, em parte devido ao encerramento da produção da Fábrica da Pólvora em 1988, mas também pela exposição a cheias frequentes. Esta é a razão pela qual muitos dos edifícios do Lugar do Bico já não estão habitados. As características geométricas, o perímetro potencialmente exposto (PPE) e a função dos edifícios estão sintetizadas na tabela 9.3.

A área dos edifícios expostos varia entre 19 m² (edifício nº 18) e 396 m² (edifício nº 2), enquanto o PPE máximo é de 100% (edifícios nº 7, 20 e 21) e o mínimo é de 12% (edifício nº 13). No que diz respeito à função, para além dos 50% que estão abandonados, existem 5 edifícios industriais, 5 habitacionais, 2 logísticos e 1 institucional/educação. Os edifícios industriais e logísticos situam-se na área industrial do Bico, os de cariz habitacional localizam-se no Lugar do Bico e o de carácter institucional/educação encontra-se na área mais a jusante (figuras 9.3 e 9.6). O último é um edifício administrativo pertencente à Universidade Atlântica, que ocupou parte do complexo original da Fábrica da Pólvora, a montante do actual Museu da Pólvora Negra. Todos os edifícios expostos da área de estudo possuem uma única função.

²⁴ A notícia publicada no *Jornal da Região de Oeiras* sobre este evento pode ser lida no anexo 5.

Tabela 9.3 Características geométricas, perímetro potencialmente exposto (PPE) e função dos edifícios expostos.

Edifício	Área (m ²)	Perímetro (m)	PPE		Função
			m	%	
1	359,7	61,6	28,6	46	Industrial
2	396,0	65,1	57,3	88	Industrial
3	48,0	28,0	7,8	28	Industrial
4	200,3	43,7	21,0	48	Industrial
5	192,2	40,7	13,2	33	Industrial
6	26,3	21,7	10,4	48	Logística
7	22,3	19,1	19,1	100	Logística
8	34,2	24,5	19,6	80	Abandonado
9	33,7	23,7	14,3	60	Abandonado
10	33,0	23,6	14,4	61	Abandonado
11	41,9	27,6	20,0	72	Abandonado
12	338,1	53,0	29,4	55	Abandonado
13	73,5	28,3	3,5	12	Habitacional
14	87,3	29,7	8,1	27	Abandonado
15	111,3	32,0	10,4	32	Abandonado
16	61,7	35,1	30,5	87	Habitacional
17	51,2	31,5	26,9	85	Habitacional
18	19,0	17,5	13,0	74	Habitacional
19	58,7	43,8	39,2	90	Habitacional
20	48,1	28,9	28,9	100	Abandonado
21	155,9	58,9	58,9	100	Abandonado
22	119,9	32,6	16,4	50	Abandonado
23	97,9	43,7	21,9	50	Abandonado
24	67,0	33,0	25,8	78	Institucional/educação
25	326,3	78,9	45,1	57	Abandonado
26	229,9	85,6	85,6	100	Abandonado

PPE – perímetro potencialmente exposto.

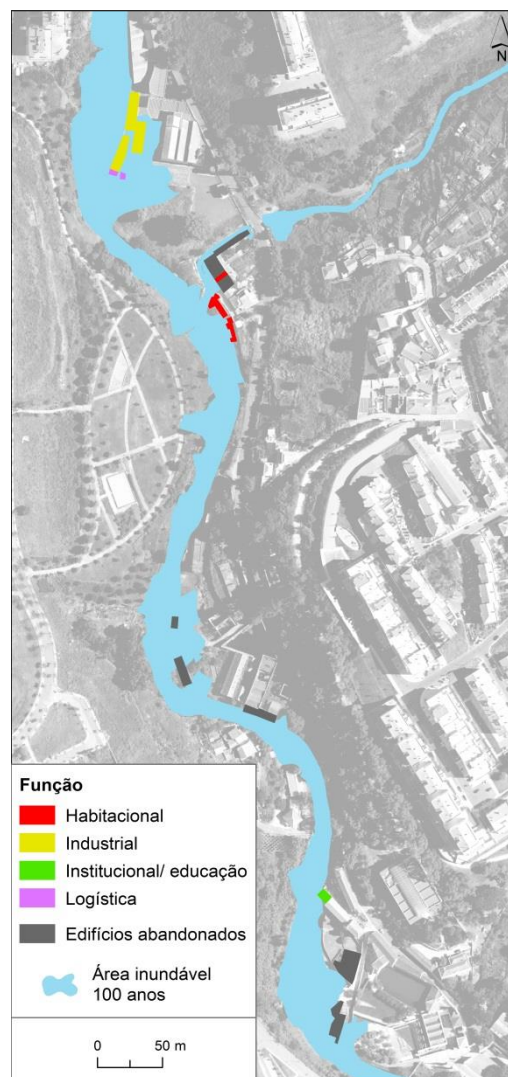


Figura 9.6 Função dos edifícios expostos na área de estudo.

Através da função e da utilização dos edifícios presentes na área de estudo foi possível definir diferentes graus de exposição temporal, consoante o dia da semana e o período do dia em que um evento de cheia ocorra. Recorde-se que os três períodos considerados são: 1) diurno nos dias úteis - 1º período; 2) diurno nos fins-de-semana e feriados - 2º período; 3) noturno - 3º período (figura 9.7). Para esta análise consideraram-se os edifícios não abandonados e expostos a um evento com período de retorno de 100 anos.

No 1º período diurno, considerou-se que a exposição é moderada nos edifícios habitacionais e muito elevada nos restantes (figura 9.7a). Tratando-se de edifícios cuja utilização se faz de forma quase exclusiva durante o horário laboral, optou-se por atribuir uma exposição muito elevada no 1º período (figura 9.7a) e uma exposição nula ou reduzida no 2º (figura 9.7b) e 3º (figura 9.7c) períodos. Nos edifícios de habitação a exposição é elevada no 2º período (figura 9.7b) e é muito elevada no 3º período (figura 9.7c). Esta diferença prende-se com a maior probabilidade de as pessoas estarem nas

suas casas durante as noites e madrugadas do que durante o dia aos fins-de-semana e feriados. Em síntese, existem dois conjuntos de edifícios expostos de forma distinta. Nos edifícios nº 1 a 7 e nº 24 a exposição é moderada no 1º período, elevada no 2º período e muito elevada no 3º período, enquanto nos edifícios nº 13, 16, 17, 18 e 19 a exposição é muito elevada no 1º período e é nula ou reduzida nos outros períodos considerados (figura 9.7).

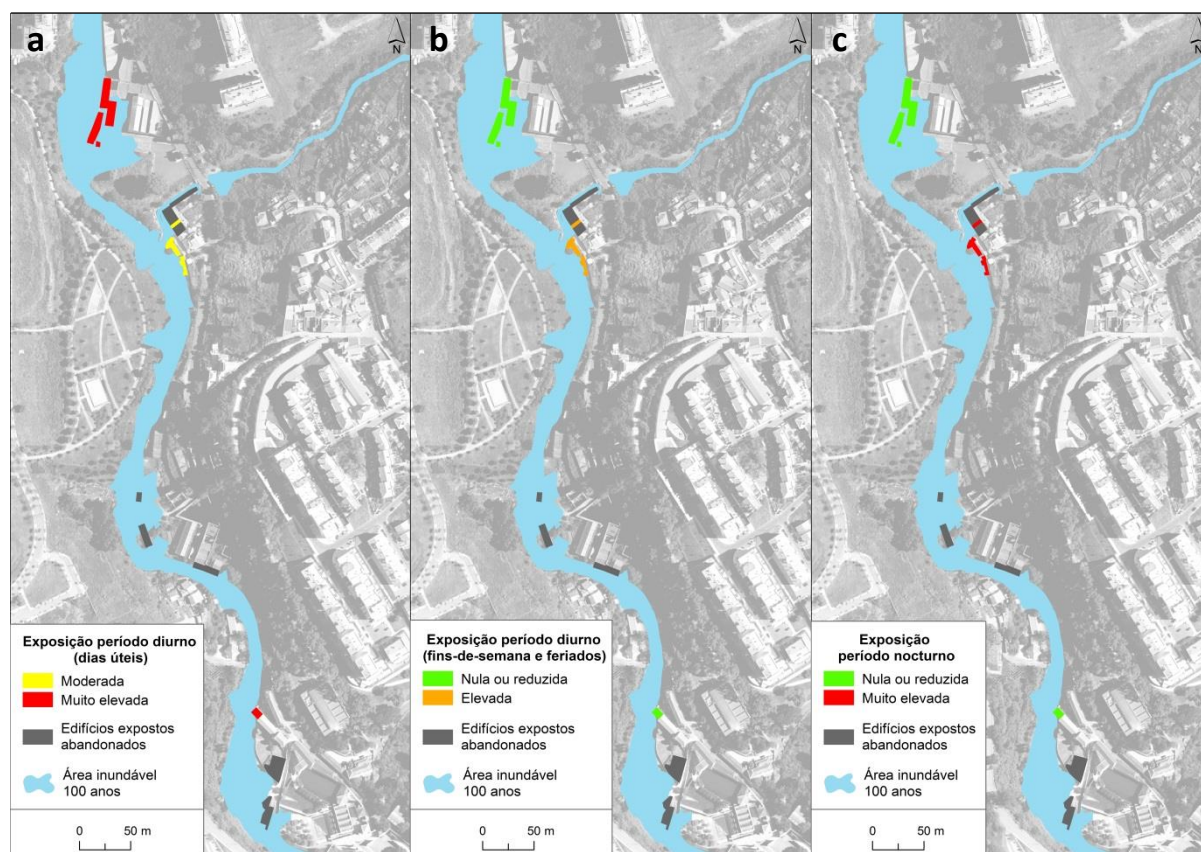


Figura 9.7 Exposição temporal às cheias rápidas dos edifícios na área de estudo durante o período diurno dos dias úteis **(a)** e dos fins-de-semana e feriados **(b)** e durante o período nocturno **(c)**

9.2.2.3. Exposição às cheias rápidas com diferentes períodos de retorno

Verifica-se de seguida quantos são os edifícios expostos quando ocorrem eventos de cheia com diferentes períodos de retorno. O número de edifícios expostos aumenta de 11, em eventos com recorrência de 2 anos, para 26, em eventos com períodos de retorno de 50 e 100 anos (tabela 9.4). Os maiores incrementos registam-se aos 10 anos (de 13 para 18 edifícios expostos) e aos 20 anos (de 18 para 23), sendo que, para uma recorrência de 20 anos, o aumento deve-se, em exclusivo, aos edifícios ocupados e não aos edifícios abandonados (tabela 9.4). Isto significa que eventos de cheia com períodos de retorno de 20, 50 ou 100 afectam quase o mesmo número de edifícios ocupados (12 ou 13), demonstrando que não é necessário acontecer um evento muito excepcional para que esses edifícios sejam afectados. Outro aspecto relevante é que as cheias mais frequentes (2 anos) afectam

11 edifícios, um número demasiado elevado neste contexto. Contudo, a maior parte desses edifícios (8) já estão abandonados, facto que terá, certamente, uma relação directa com a elevada frequência com que esses edifícios são afectados pelas cheias, levando ao seu abandono.

Para terminar a avaliação da exposição no sector estudado da bacia de Barcarena, analisa-se quais são os edifícios expostos ocupados em cada período de retorno (tabela 9.5 e figura 9.8). Para 2 anos existem três edifícios expostos ocupados (nº 13, 16 e 24), sendo que dois deles se situam no Lugar do Bico e o outro pertence à Universidade Atlântica. Para uma recorrência de 5 anos há apenas mais um edifício exposto ocupado (nº 6), localizado na área industrial do Bico. O número cresce para sete, estimando-se que os restantes edifícios ocupados do Lugar do Bico (nº 17, 18 e 19) sejam afectados por um evento com período de retorno de 10 anos. O maior aumento ocorre aos 20 anos, passando a existir 12 edifícios expostos ocupados, com mais cinco edifícios a serem afectados na área industrial do Bico (nº 2, 3, 4, 5 e 7). Este é o único período de retorno em que a quantidade de edifícios expostos ocupados supera o de edifícios expostos abandonados (tabela 9.4).

Na passagem para os 50 e 100 anos, verifica-se que só há mais um edifício exposto ocupado (nº 1), igualmente na área industrial do Bico. Apesar da maior extensão da área inundável, prevê-se que um evento de cheia com período de retorno de 100 anos não afecte mais edifícios do que um evento com recorrência de 50 anos (tabelas 9.4 e 9.5 e figura 9.8).

Tabela 9.4 Síntese dos edifícios expostos na área de estudo para diferentes períodos de retorno.

	Período de retorno					
	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
Nº edifícios expostos	11	13	18	23	26	26
Área dos edifícios expostos (m ²)	1131	1244	1533	2392	3233	3233
Nº edifícios expostos ocupados	3	4	7	12	13	13
Edifícios expostos ocupados (%)	27	31	39	52	50	50
Área dos edifícios expostos ocupados (m ²)	202	228	357	1216	1576	1576
Nº edifícios expostos abandonados	8	9	11	11	13	13
Área dos edifícios expostos abandonados (m ²)	929	1016	1175	1175	1658	1658

Tabela 9.5 Edifícios expostos na área de estudo em diferentes períodos de retorno.

Edifício	Período de retorno						Edifício	Período de retorno					
	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos		2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
1	-	-	-	-	X	X	14	-	X	X	X	X	X
2	-	-	-	X	X	X	15	-	-	X	X	X	X
3	-	-	-	X	X	X	16	X	X	X	X	X	X
4	-	-	-	X	X	X	17	-	-	X	X	X	X
5	-	-	-	X	X	X	18	-	-	X	X	X	X
6	-	X	X	X	X	X	19	-	-	X	X	X	X
7	-	-	-	X	X	X	20	-	-	X	X	X	X
8	X	X	X	X	X	X	21	-	-	-	-	X	X
9	X	X	X	X	X	X	22	X	X	X	X	X	X
10	X	X	X	X	X	X	23	X	X	X	X	X	X
11	X	X	X	X	X	X	24	X	X	X	X	X	X
12	X	X	X	X	X	X	25	-	-	-	-	X	X
13	X	X	X	X	X	X	26	X	X	X	X	X	X

(X) exposto; (-) não exposto. A cinzento estão representados os edifícios abandonados.

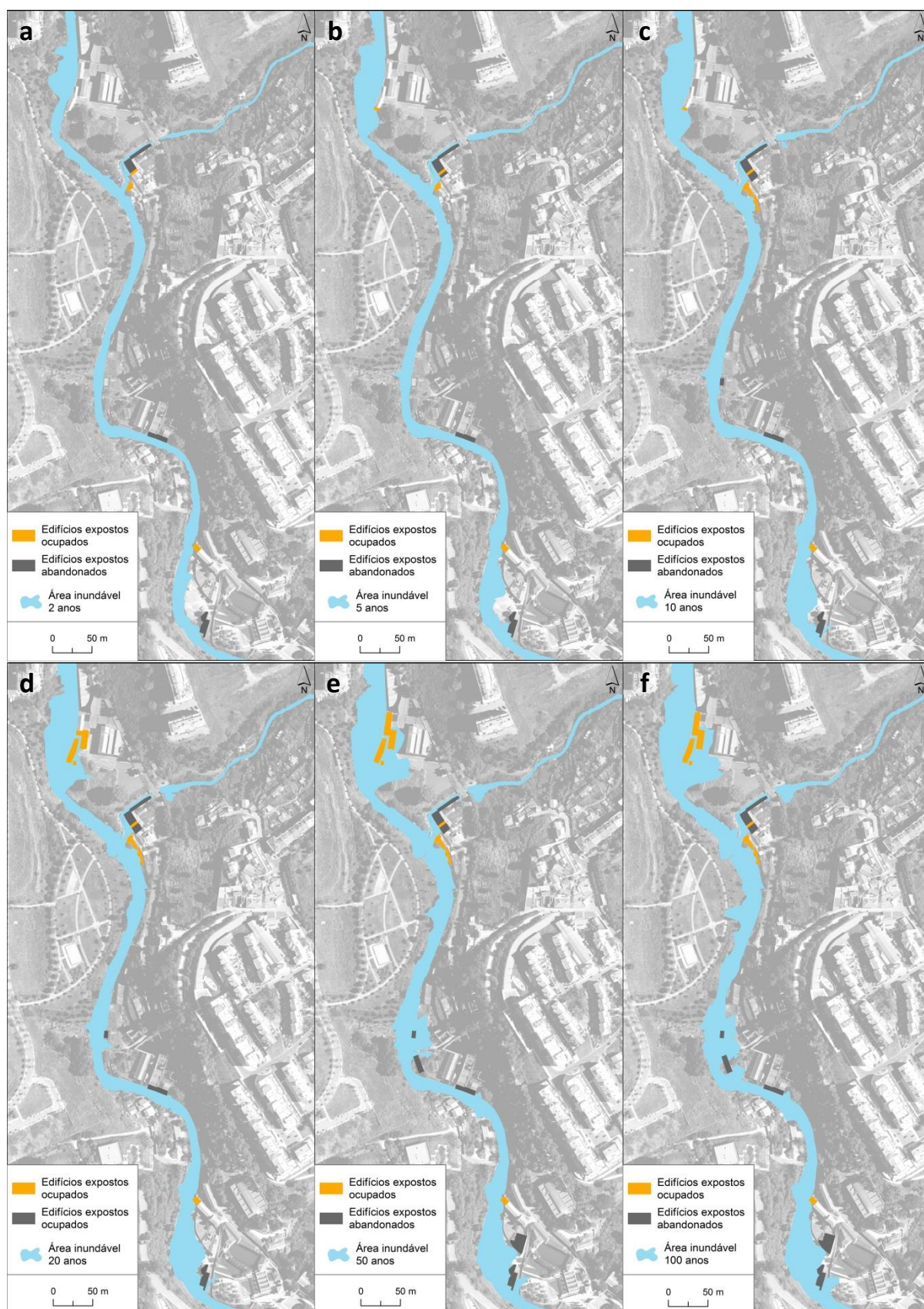


Figura 9.8 Localização dos edifícios expostos na área de estudo para períodos de retorno de 2 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 50 (e) e 100 anos (f).

9.3. VULNERABILIDADE ÀS CHEIAS RÁPIDAS

Depois de identificados os edifícios expostos às cheias rápidas no sector estudado da bacia de Barcarena, foi determinada a sua vulnerabilidade. Esta análise foi realizada para os edifícios expostos ocupados (13) e apenas do ponto de vista estrutural/físico. Diga-se que, através de algumas das características dos edifícios afectados, em parte é possível inferir as condições socioeconómicas dos habitantes (quando se trata de habitações), podendo isso reflectir-se na vulnerabilidade das pessoas/famílias. De qualquer forma, não é esse o objectivo desta investigação e, por isso, a análise contempla exclusivamente a vulnerabilidade estrutural dos edifícios. Como foi explicado no ponto 9.1.3, a vulnerabilidade estrutural resulta da combinação entre a vulnerabilidade intrínseca (VI) dos edifícios expostos e a magnitude do processo natural (MPN).

9.3.1. Vulnerabilidade intrínseca (VI)

A VI pode ser entendida como a propensão para os elementos expostos sofrerem danos. Recorde-se que as cinco características dos edifícios consideradas mais relevantes para a variação da VI foram: o material de construção e estrutura (ME); a condição e estado de conservação (CE); as entradas expostas (EE); a idade; e o número de pisos. As características dos edifícios expostos na área de estudo estão presentes na tabela 9.6. Os *scores* atribuídos aos edifícios para os indicadores considerados no cálculo da VI podem ser vistos na tabela 9.7.

Todos os edifícios expostos são de alvenaria (pedra ou tijolo), sendo que os edifícios nº 1 a 6 têm estrutura de betão e os edifícios nº 7 a 24 não a têm (tabela 9.6). Nestes casos, são as paredes exteriores de alvenaria que suportam o peso do edifício e são, por isso, designadas como paredes estruturais. Quando uma dessas paredes colapsa ou apresenta danos acentuados, isso pode comprometer a estabilidade de todo o edifício (Milanesi *et al.*, 2018). Recorde-se que o material de construção e a estrutura foi considerado o indicador mais relevante na determinação da VI (ponderação 0,4 – figura 9.1).

A condição e estado de conservação dos edifícios (ponderação 0,2 – figura 9.1) são bastante distintos na área de estudo, variando entre bom e muito mau. Considerou-se que os edifícios nº 5, 6 e 24 apresentam os melhores graus de conservação, que os edifícios nº 1, 2, 3, 4 e 7 possuem um nível médio, que o edifício nº 13 regista um nível mau e que os edifícios nº 16 a 19 apresentam um nível muito mau (tabela 9.6). Isto significa que os edifícios destinados à habitação, localizados no Lugar do Bico, são os mais degradados, embora por razões diferentes. Se o edifício nº 13 se encontra em mau estado de conservação devido à falta de obras de manutenção, nos restantes o nível atribuído deve-se ao tipo de edifício, às condições deficientes das habitações e à falta de qualidade da construção. Estes mantêm algumas características típicas de edifícios precários, como as pequenas aberturas que

servem de janelas ou os barrotes de madeira onde assentam chapas de zinco que servem de telhado, posteriormente cobertas com telhas (figura 9.9). Ao longo do tempo, estes edifícios tiveram melhorias progressivas realizadas pelos proprietários, como a substituição do material de construção de algumas paredes, que passaram a ser em tijolo.



Figura 9.9 Edifícios de habitação no Lugar do Bico junto à ribeira de Barcarena.

Quanto às entradas expostas (ponderação 0,2 – figura 9.1), os edifícios nº 1 a 7 e nº 24 têm entradas do lado da vertente, ou seja, os pontos por onde a água pode entrar no edifício encontram-se do lado contrário ao curso de água (tabela 9.6). Ao invés, os edifícios habitacionais do Lugar do Bico (nº 13 a 19) possuem entradas expostas do lado da ribeira de Barcarena ou de Massamá (figura 9.9). Note-se que os edifícios nº 1, 4 e 5 também apresentam janelas do lado da ribeira de Barcarena, no entanto, estas foram consideradas não expostas por estarem a um nível superior ao da altura de água atingida numa cheia com período de retorno de 100 anos. Em termos teóricos, a avaliação da VI não deveria ter em conta as características do processo natural, todavia, ao considerar expostas as entradas referidas quando estas se encontram acima do nível atingido pela água, isso iria sobrestimar a vulnerabilidade desses edifícios.

Nenhum dos edifícios expostos pode ser considerado recente, pois todos eles são anteriores à década de 80. De qualquer forma, a sua importância é relativa, uma vez que a condição e o estado de conservação de um edifício podem minimizar ou acentuar os efeitos da idade de um edifício. Por exemplo, um edifício com 80 anos que tenha sido alvo de obras de conservação e manutenção possui uma vulnerabilidade estrutural (intrínseca) inferior à de um edifício com 30 anos, mas cuja condição e estado de conservação são deficientes. Como tal, a ponderação atribuída para o cálculo da VI é apenas de 0,1 (figura 9.1). Dos 13 edifícios expostos os mais antigos são os edifícios nº 13 e 24, que são anteriores a 1946. Os restantes edifícios foram construídos entre 1946 e 1960, com excepção do nº 7, que data do período 1961-1980 (tabela 9.6).

O número de pisos dos edifícios expostos (ponderação 0,1 – figura 9.1) varia entre 1 e 2 (tabela 9.6). Os que possuem dois andares são os edifícios nº 1, 2, 4, 5 e 13, enquanto os restantes são edifícios térreos.

A VI dos edifícios expostos varia entre 0,35 e 0,82 (tabela 9.7), sendo que, quanto mais próximo de 1, mais elevada é a vulnerabilidade. O valor mais baixo pertence ao edifício nº 5 e os mais altos correspondem aos edifícios nº 16, 17, 18 e 19 (tabela 9.7). A combinação das características físicas revelou que os edifícios mais vulneráveis se encontram no Lugar do Bico (figura 9.10), algo expectável tendo em conta a realidade anteriormente descrita. Os menos vulneráveis são os edifícios nº 1, 2, 4, 5 e 6, cujos valores de VI variam entre 0,35 e 0,41 (tabela 9.7 e figura 9.10). Pode dizer-se ainda que os edifícios nº 3, 7 e 24 possuem uma VI intermédia, com valores entre 0,46 e 0,55, enquanto o edifício nº 13 (VI = 0,73) está muito próximo da classe mais elevada, embora a sua vulnerabilidade seja um pouco inferior à dos outros edifícios do Lugar do Bico (tabela 9.7 e figura 9.10). Relembre-se, por fim, que a VI é independente da magnitude e da recorrência das cheias, ou seja, não varia com o aumento do período de retorno dos eventos.

Tabela 9.6 Características dos edifícios expostos na área de estudo.

Edifício	Material de construção e estrutura (ME)	Condição e estado de conservação (CE)	Entradas expostas (EE)	Idade (I)	Nº de pisos (P)
1	Alvenaria com estrutura de betão	Médio	Do lado da vertente	1946-1960	2
2	Alvenaria com estrutura de betão	Médio	Do lado da vertente	1946-1960	2
3	Alvenaria com estrutura de betão	Médio	Do lado da vertente	1946-1960	1
4	Alvenaria com estrutura de betão	Médio	Do lado da vertente	1946-1960	2
5	Alvenaria com estrutura de betão	Bom	Do lado da vertente	1946-1960	2
6	Alvenaria com estrutura de betão	Bom	Do lado da vertente	1946-1960	1
7	Alvenaria sem estrutura de betão	Médio	Do lado da vertente	1961-1980	1
13	Alvenaria sem estrutura de betão	Mau	Do lado da ribeira	Antes de 1946	2
16	Alvenaria sem estrutura de betão	Muito mau	Do lado da ribeira	1946-1960	1
17	Alvenaria sem estrutura de betão	Muito mau	Do lado da ribeira	1946-1960	1
18	Alvenaria sem estrutura de betão	Muito mau	Do lado da ribeira	1946-1960	1
19	Alvenaria sem estrutura de betão	Muito mau	Do lado da ribeira	1946-1960	1
24	Alvenaria sem estrutura de betão	Bom	Do lado da vertente	Antes de 1946	1

Tabela 9.7 Scores atribuídos aos edifícios expostos na área de estudo e respectiva vulnerabilidade intrínseca (VI).

Edifício	ME	CE	EE	I	P	Vulnerabilidade intrínseca (VI)
1	0,3	0,4	0,4	0,75	0,5	0,41
2	0,3	0,4	0,4	0,75	0,5	0,41
3	0,3	0,4	0,4	0,75	1	0,46
4	0,3	0,4	0,4	0,75	0,5	0,41
5	0,3	0,1	0,4	0,75	0,5	0,35
6	0,3	0,1	0,4	0,75	1	0,40
7	0,6	0,4	0,4	0,5	1	0,55
13	0,6	0,7	1	1	0,5	0,73
16	0,6	1	1	0,75	1	0,82
17	0,6	1	1	0,75	1	0,82
18	0,6	1	1	0,75	1	0,82
19	0,6	1	1	0,75	1	0,82
24	0,6	0,1	0,4	1	1	0,54

ME – material de construção e estrutura; CE – condição e estado de conservação; EE – entradas expostas; I – idade; P – número de pisos.

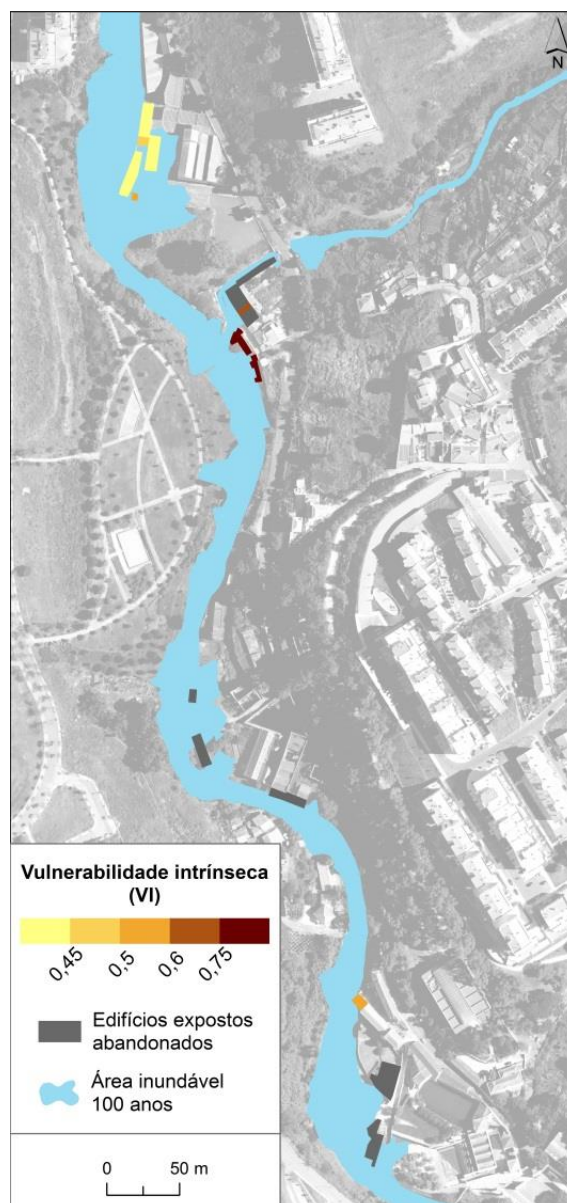


Figura 9.10 Vulnerabilidade intrínseca (VI) dos edifícios expostos na área de estudo.

9.3.2. Magnitude do processo natural (MPN)

Analizada a VI, importa agora saber de que forma os edifícios expostos são afectados pelos eventos de cheia e como os aumentos no período de retorno se reflectem na porção afectada (PA), na altura de água e na velocidade do escoamento junto aos edifícios (tabela 9.8). Para além dos valores médios estimados para a altura de água e velocidade (A e V), apresentam-se também os valores máximos (Am e Vm) (tabela 9.8). Os *scores* atribuídos para a obtenção da MPN podem ser vistos na tabela 9.9. Estes resultam dos valores das variáveis PA, A e V que, tal como foi explicado no ponto 9.1.3, têm ponderações iguais (0,33) no cálculo da MPN (figura 9.1). Vale a pena recordar que os edifícios só possuem valores referentes à MPN quando estão expostos às cheias e que essa situação pode variar consoante o período de retorno (tabelas 9.8 e 9.9). Os 13 edifícios só estão expostos quando ocorrem eventos cuja recorrência é igual ou superior a 50 anos, dado que os eventos com períodos de retorno inferiores não afectam a totalidade dos edifícios (tabela 9.5).

A porção afectada representa a percentagem do perímetro do edifício que fica em contacto com a água. Os valores deste indicador podem variar entre 1% e 100%, quando o edifício fica inteiramente rodeado pela cheia. Nos 13 edifícios expostos, a porção mínima afectada é de 5% nos edifícios nº 1, 13 e 17, enquanto a máxima é de 100% no edifício nº 7 (tabela 9.8). Há apenas dois edifícios que superam porções afectadas de 75%, isto é, são os únicos a que foram atribuídos o *score* mais elevado: 1 (tabela 9.9). O primeiro caso é o do edifício nº 7, cuja porção afectada é de 100% em todos os períodos de retorno em que está exposto: 20, 50 e 100 anos (tabela 9.8). O segundo caso é o do edifício nº 2 aos 50 e 100 anos, em que a porção afectada atinge os 88% (tabela 9.8).

O facto de existirem edifícios adjacentes, reduzindo o PPE, impede, em diversos casos, que a porção afectada seja maior, minimizando os impactes das cheias. Um PPE baixo obriga a que a porção afectada seja reduzida, podendo esta ser igual em quase todos os períodos de retorno. É o que acontece com o edifício nº 13, que tem um PPE de apenas 12%, resultante de uma única fachada exposta. Em eventos com período de retorno igual ou superior a 5 anos toda essa fachada é afectada pelo transbordo da ribeira de Massamá (tabela 9.8). Também os muros de protecção contra as cheias fazem com que o PPE e a porção afectada sejam menores, tal como acontece no edifício nº 24 (figura 9.11).

Os valores de altura de água e de velocidade obtidos para as células adjacentes aos edifícios expostos estão longe dos atingidos ao longo do canal fluvial. Por exemplo, as alturas de água e as velocidades nunca atingem os 2 m ou 2 m/s, respectivamente, junto aos edifícios expostos, nem mesmo em eventos com período de retorno de 100 anos (tabela 9.8), impedindo a atribuição dos *scores* máximos – 1 (tabela 9.9). Isto deve-se à localização dos edifícios nos leitos de cheia, onde a

perigosidade às cheias rápidas é moderada ou reduzida (figura 8.30) e, por isso, menor quando comparada com a perigosidade (elevada) ao longo do canal fluvial.



Figura 9.11 Edifício nº 24 e muro de protecção contra as cheias (vista de montante para jusante).



Figura 9.12 Área industrial do Bico e posição do edifício nº 6 (vista de jusante para montante).

Edifício	2 anos					5 anos					10 anos					20 anos					50 anos					100 anos					
	PA	A	Am	V	Vm	PA	A	Am	V	Vm	PA	A	Am	V	Vm	PA	A	Am	V	Vm	PA	A	Am	V	Vm	PA	A	Am	V	Vm	
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0,09	0,15	0,01	0,01	0,01	6	0,13	0,24	0,01	0,01
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	0,07	0,29	0,19	0,24	88	0,18	0,48	0,31	0,43	88	0,27	0,55	0,39	0,47	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	0,28	0,29	0,01	0,01	28	0,47	0,50	0,01	0,01	28	0,55	0,58	0,01	0,01	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	0,31	0,46	0,09	0,17	49	0,51	0,66	0,15	0,24	49	0,59	0,76	0,18	0,29	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	0,34	0,47	0,06	0,10	33	0,54	0,71	0,10	0,20	33	0,62	0,82	0,12	0,23	
6	-	-	-	-	-	15	0,39	0,58	0,03	0,14	48	0,59	0,94	0,27	0,57	48	0,81	1,17	0,38	0,66	48	1,07	1,33	0,47	0,95	48	1,17	1,43	0,54	1,14	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	0,17	0,22	0,29	0,77	100	0,43	0,47	0,27	0,81	100	0,53	0,58	0,31	0,88	
13	5	0,02	0,03	0,09	0,10	12	0,10	0,13	0,21	0,27	12	0,15	0,17	0,29	0,34	12	0,17	0,20	0,35	0,41	12	0,21	0,24	0,42	0,50	12	0,24	0,27	0,49	0,59	
16	13	0,06	0,11	0,10	0,34	31	0,11	0,19	0,12	0,37	31	0,14	0,24	0,15	0,43	31	0,17	0,29	0,18	0,53	36	0,19	0,34	0,19	0,58	36	0,23	0,39	0,27	0,59	
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0,12	0,19	0,10	0,16	9	0,20	0,36	0,17	0,24	11	0,39	0,59	0,25	0,31	14	0,48	0,69	0,29	0,36	
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	0,09	0,16	0,06	0,09	15	0,18	0,33	0,11	0,15	15	0,36	0,51	0,16	0,23	15	0,44	0,62	0,20	0,28	
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	0,10	0,16	0,09	0,12	45	0,14	0,23	0,14	0,19	47	0,28	0,48	0,18	0,24	50	0,34	0,59	0,22	0,32	
24	8	0,07	0,14	0,46	1,13	18	0,21	0,30	0,51	1,29	19	0,43	0,54	0,55	1,40	22	0,62	0,77	0,59	1,48	22	0,84	1,04	0,63	1,56	32	1,06	1,25	0,66	1,62	

Tabela 9.8 Valores do escoamento referentes aos edifícios expostos na área para eventos de cheia com diferentes períodos de retorno.

PA – porção afectada (%); A – altura média da água (m); Am – altura máxima da água (m); V – velocidade média do escoamento (m/s); Vm – velocidade máxima do escoamento (m/s).

Edifício	Porção afectada (PA)						Altura média de água (A)						Velocidade média do escoamento (V)						Magnitude do processo natural (MPN)					
	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100
1	-	-	-	-	0,25	0,25	-	-	-	-	0,3	0,3	-	-	-	-	0,3	0,3	-	-	-	-	0,28	0,28
2	-	-	-	0,5	1	1	-	-	-	-	0,3	0,3	-	-	-	0,3	0,3	0,3	-	-	-	-	0,53	0,53
3	-	-	-	0,5	0,5	0,5	-	-	-	-	0,3	0,3	0,7	-	-	0,3	0,3	0,3	-	-	-	-	0,37	0,50
4	-	-	-	0,5	0,5	0,5	-	-	-	-	0,3	0,7	0,7	-	-	0,3	0,3	0,3	-	-	-	-	0,50	0,50
5	-	-	-	0,5	0,5	0,5	-	-	-	-	0,3	0,7	0,7	-	-	0,3	0,3	0,3	-	-	-	-	0,50	0,50
6	-	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	-	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	-	0,28	0,50	0,50	0,50	0,63
7	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	0,3	0,3	0,7	-	-	0,3	0,3	0,3	-	-	-	-	0,53	0,67
13	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
16	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,28	0,28	0,37	0,37	0,37	0,37
17	-	-	0,25	0,25	0,25	0,25	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-	0,3	0,3	0,3	-	-	0,28	0,28	0,28	0,28
18	-	-	0,25	0,25	0,25	0,25	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-	0,3	0,3	0,3	-	-	0,28	0,28	0,28	0,28
19	-	-	0,25	0,5	0,5	0,5	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-	0,3	0,3	0,3	-	-	0,28	0,28	0,28	0,28
24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,28	0,42	0,55	0,55	0,55	0,63

Tabela 9.9 Scores atribuídos aos edifícios expostos na área de estudo para diferentes períodos de retorno e valores de magnitude do processo natural (MPN).

Na maior parte dos casos, a altura média de água em torno dos edifícios é inferior a 0,5 m, sendo que, como seria expectável, à medida que o período de retorno aumenta, a possibilidade de se atingir esse nível também aumenta (tabela 9.8). 50/60 cm pode ser considerado um limiar crítico para a estabilidade de uma pessoa numa situação de cheia (Marco, 1994; Penning-Rowsell *et al.*, 2005) e 40 cm como o limiar para se conseguir abrir uma porta numa área inundada (Ishigaki *et al.*, 2009). Todavia, 2 m representam o valor crítico relativamente aos danos em edifícios e infra-estruturas (Smith, 1991; Kreibich *et al.*, 2009). A altura média mais elevada, gerada a partir dos resultados do modelo hidráulico desenvolvido para o capítulo 8, foi obtida para o edifício nº 6 aquando da ocorrência de um evento de cheia com período de retorno de 100 anos: 1,17 m. Com excepção do edifício nº 24, que também atinge valores de altura média de água significativos, o edifício nº 6 destaca-se devido à sua posição. Em primeiro lugar, trata-se do edifício mais a sul na área industrial do Bico, localizado a jusante de um conjunto de edifícios que empareda a ribeira de Barcarena ao longo da sua margem esquerda (figura 9.12). Tal como ilustrado pelas figuras 8.16 ou 9.8, a inundação do leito de cheia nessa margem ocorre a partir desta secção, fazendo com que o edifício nº 6 seja cercado pela área inundada e afectando, posteriormente, os restantes edifícios expostos nesse local (figura 9.12). Atendendo a este facto e à sua proximidade em relação à ribeira de Barcarena, é também na envolvente do edifício nº6 que se estima que as alturas de água sejam mais elevadas, o que, por sua vez, se reflecte nos valores médios da altura de água (tabela 9.8).

Estima-se que as alturas de água atingidas junto aos edifícios situados no Lugar do Bico sejam pouco significativas, nunca alcançando 0,5 m, nem mesmo no período de retorno mais elevado. Por um lado, a elevada velocidade do escoamento no troço final da ribeira de Massamá (figura 8.20) não permite que o nível da água atinja uma altura muito expressiva no local do edifício nº 13. Por outro lado, a largura considerável (cerca de 15 metros) da secção transversal da ribeira de Barcarena imediatamente a jusante da confluência faz com que a altura de água que contacta com os edifícios nº 16 a 19 seja reduzida (tabela 9.8).

As velocidades médias do escoamento estimadas junto aos edifícios expostos são ainda menos significativas do que as alturas de água (tabela 9.8). Tal pode ser explicado tanto pela posição dos edifícios no fundo de vale, como pelo efeito de atrito no escoamento provocado por estes. Já foi dito que os edifícios expostos não se encontram, felizmente, nos locais onde se atingem as alturas de água e as velocidades mais elevadas, fruto da sua posição em áreas mais elevadas face ao canal fluvial. Como é natural, essas áreas do leito de cheia têm, por norma, desníveis pouco acentuados, fazendo com que a velocidade do escoamento seja reduzida ou mesmo nula. Por outro lado, a velocidade da água junto às paredes dos edifícios e a outras estruturas será sempre menor do que na restante área inundável devido ao efeito de atrito, com o mesmo a suceder junto ao fundo.

As velocidades médias obtidas variam entre 0,01 m/s para os edifícios nº 1 e 3 e 0,66 m/s para o edifício nº 24 num evento de cheia com período de retorno de 100 anos (tabela 9.8). Tendo em conta os baixos valores médios de velocidade, os *scores* atribuídos a esta variável no cálculo do MPN são quase sempre de 0,3, com excepção do edifício nº 24 a partir dos 5 anos e do edifício nº 6 para 100 anos – 0,7 (tabela 9.9). Ainda assim, estima-se que a velocidade máxima junto ao edifício nº24 possa atingir 1,62 m/s no período de retorno mais elevado (tabela 9.8), o que representa um valor assinalável neste contexto. Pelas razões evocadas, não se espera que a velocidade do escoamento assuma neste sector da bacia de Barcarena uma importância muito acentuada em eventuais danos causados por cheias rápidas nos edifícios expostos.

Da porção afectada, altura média de água e velocidade média do escoamento resultaram os valores de MPN dos 13 edifícios expostos (tabela 9.9 e figura 9.13). Estes variam entre 0,28 para alguns edifícios e 0,67 para o edifício nº7 no período de retorno de 100 anos. Os valores de MPN são mais elevados na área industrial do Bico, nomeadamente nos dois edifícios mais a jusante deste complexo (nº 6 e 7), e no edifício nº 24 (figura 9.13). No período de retorno mais elevado, estes três edifícios atingem valores de MPN superiores a 0,6, distanciando-se dos seguintes, cujos resultados rondam os 0,5: edifícios nº 2 a 5 (tabela 9.9 e figura 9.13). Os valores mais baixos de MPN correspondem aos edifícios localizados no Lugar do Bico, não alcançando os 0,4 (tabela 9.9 e figura 9.13).

Foi demonstrado anteriormente que os períodos de retorno de 10 e 20 anos são fundamentais para o aumento do número de edifícios expostos (tabelas 9.4 e 9.5 e figura 9.8). No caso da MPN, são os períodos de retorno de 50 e 100 anos que se revelam mais importantes, pois são os eventos de cheia com estas recorrências que originam as alterações mais significativas na intensidade das cheias junto aos edifícios expostos (tabela 9.9). Na verdade, um evento de cheia com período de retorno de 50 anos é capaz de afectar tantos edifícios como o de 100 anos. No entanto, a porção afectada, a altura de água e a velocidade do escoamento são superiores, ou seja, a magnitude e a capacidade para causar danos é superior num evento com recorrência de 100 anos.

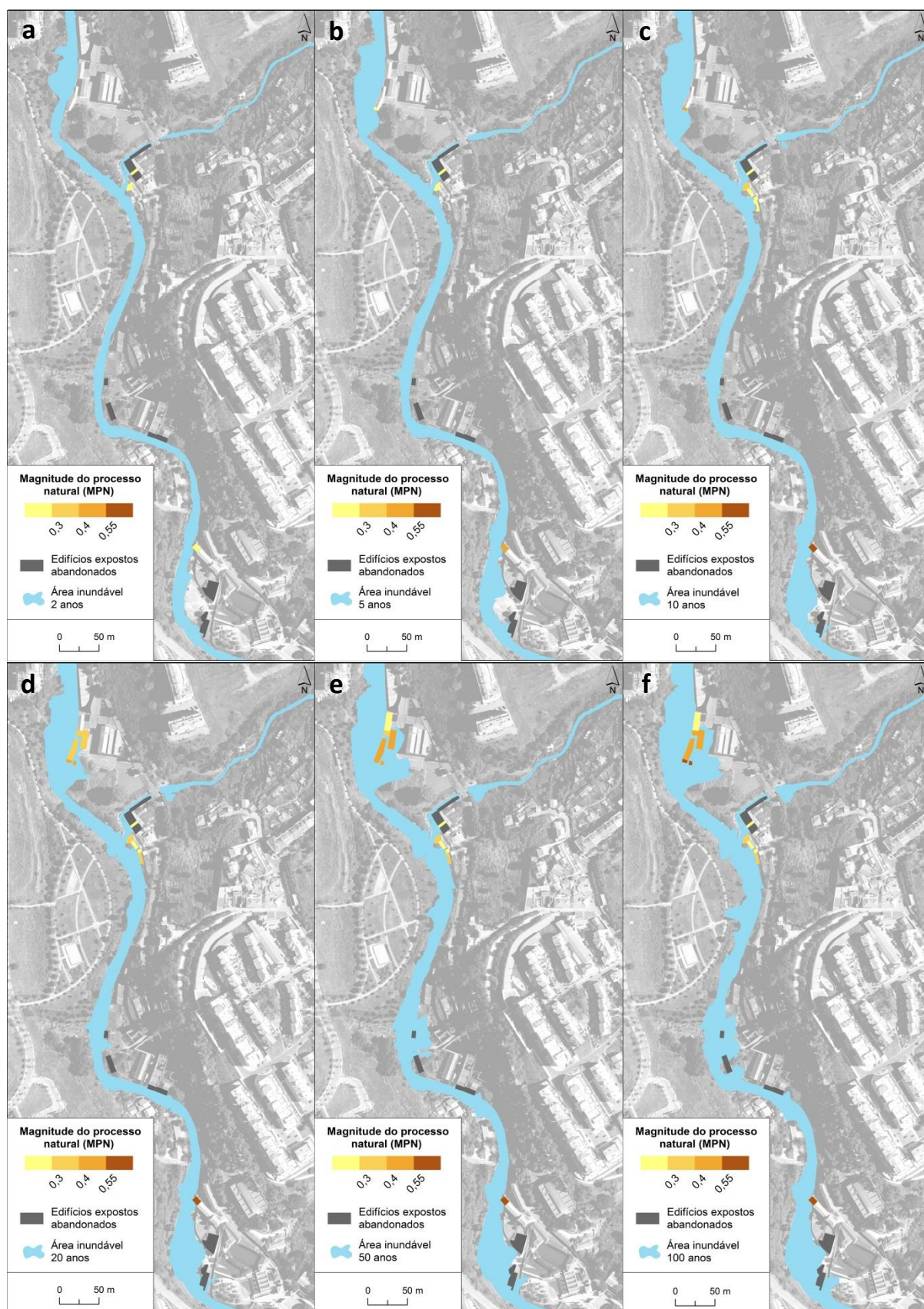


Figura 9.13 Magnitude do processo natural (MPN) na área de estudo nos eventos de cheia com períodos de retorno de 2 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 50 (e) e 100 anos (f).

9.3.3. Índice de vulnerabilidade estrutural (IVE)

Curiosamente, parece haver quase uma inversão entre os resultados da VI dos edifícios expostos e da MPN. Isto é, por norma, os edifícios que possuem valores de VI mais elevados são aqueles em que as cheias têm, segundo os valores da MPN, menor capacidade destruidora (tabela 9.10). É o que sucede com as habitações do Lugar do Bico (nº 13 a 19). Não obstante a sua VI elevada, a porção afectada, a altura de água e a velocidade do escoamento são pouco significativas (tabelas 9.8 e 9.9). Contudo, tal não impede que haja danos a registar quando ocorrem cheias rápidas devido às más condições destas habitações. Daí a importância das duas componentes analisadas: características estruturais/físicas dos edifícios e magnitude do processo natural. A situação inversa ocorre em alguns dos edifícios expostos da área industrial do Bico (tabela 9.10).

O cálculo do índice de vulnerabilidade estrutural (IVE) congrega os valores de VI e de MPN, permitindo, por isso, uma representação mais fidedigna da vulnerabilidade estrutural de um edifício em caso de cheias rápidas. Recorde-se que VI e MPN têm ponderações iguais (0,5) na determinação do IVE dos edifícios expostos.

O IVE dos edifícios expostos na área estudada da bacia de Barcarena varia entre 0,34 e 0,61. O valor mais baixo foi obtido para o edifício nº 1 aos 50 e 100 anos (únicos períodos de retorno em que este está exposto) e para o edifício nº 6 aos 5 anos (tabela 9.10 e figura 9.14). O edifício nº 1 é, claramente, o menos vulnerável por registar valores baixos em ambas as componentes: VI e MPN. O edifício nº 6 é um caso mais interessante, já que o seu valor de MPN é baixo (0,28) no primeiro período de retorno em que é afectado (5 anos), o que, aliado ao reduzido valor de VI, justifica o IVE de 0,34 (tabela 9.10). Ainda assim, o aumento da magnitude das cheias faz com que o seu valor de MPN suba de forma progressiva até 0,51 (100 anos), tornando este edifício mais vulnerável com o incremento do período de retorno das cheias rápidas.

Tabela 9.10 Índice de vulnerabilidade estrutural (IVE) dos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com diferentes períodos de retorno.

Edifício	VI	MPN						Índice de vulnerabilidade estrutural (IVE)					
		2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
1	0,41	-	-	-	-	0,28	0,28	-	-	-	-	0,34	0,34
2	0,41	-	-	-	0,37	0,53	0,53	-	-	-	0,39	0,47	0,47
3	0,46	-	-	-	0,37	0,37	0,50	-	-	-	0,41	0,41	0,48
4	0,41	-	-	-	0,37	0,50	0,50	-	-	-	0,39	0,45	0,45
5	0,35	-	-	-	0,37	0,50	0,50	-	-	-	0,36	0,42	0,42
6	0,40	-	0,28	0,50	0,50	0,50	0,63	-	0,34	0,45	0,45	0,45	0,51
7	0,55	-	-	-	0,53	0,53	0,67	-	-	-	0,54	0,54	0,61
13	0,73	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
16	0,82	0,28	0,28	0,37	0,37	0,37	0,37	0,55	0,55	0,59	0,59	0,59	0,59
17	0,82	-	-	0,28	0,28	0,28	0,28	-	-	0,55	0,55	0,55	0,55
18	0,82	-	-	0,28	0,28	0,28	0,28	-	-	0,55	0,55	0,55	0,55
19	0,82	-	-	0,28	0,37	0,37	0,37	-	-	0,55	0,59	0,59	0,59
24	0,54	0,28	0,42	0,55	0,55	0,55	0,63	0,41	0,48	0,54	0,54	0,54	0,59

VI – vulnerabilidade intrínseca; MPN – magnitude do processo natural.

O IVE mais elevado (0,61) pertence edifício nº 7 no período de retorno de 100 anos, tornando-o o edifício mais vulnerável às cheias rápidas naquele sector da bacia de Barcarena (tabela 9.10 e figura 9.14). As suas características estruturais sugerem uma VI moderada (0,55), porém o seu valor de MPN para 100 anos é o mais elevado dos 13 edifícios expostos. Isto deve-se ao facto de ficar rodeado por inteiro pela área inundada e porque se estima que a altura média de água seja superior a 0,5 m (tabela 9.8 e 9.9). Neste edifício, o aumento no valor da altura média de água entre os 50 e os 100 anos (de 0,43 m para 0,53 m) induz o aumento do *score* atribuído (de 0,3 para 0,7) que, por sua vez, se reflecte no incremento do valor do IVE (de 0,53 para 0,67). Na prática, um pequeno aumento na altura média de água (10 cm) traduz-se num incremento considerável no valor do IVE (0,14), o que pode ser entendido como uma fragilidade quando se atribuem *scores* associados a limiares críticos. Todavia, 10 cm de diferença na altura de água representa um grande volume de água numa área inundada. Este volume adicional pode ser muito relevante na vulnerabilidade estrutural, sobretudo pela pressão hidrostática exercida nas entradas expostas e nos eventuais danos causados pela entrada de água dentro dos edifícios.

Tomando como referência o período de retorno de 100 anos, seguem-se na hierarquia os edifícios nº 16, 19 e 24, com um IVE de 0,59, e os edifícios nº 17 e 18, com um IVE de 0,55 (tabela 9.10 e figura 9.14). Apesar da sua localização em pontos distintos da área de estudo, o edifício nº 24 apresenta números de VI, MPN e IVE semelhantes aos do edifício nº 7 (tabela 9.10). O mesmo não acontece com os edifícios do Lugar do Bico (nº 16 a 19), em que os valores elevados de IVE se devem, principalmente, à sua elevada VI (tabela 9.10). Ainda no que respeita aos edifícios do Lugar do Bico, nomeadamente os edifícios nº 13, 17 e 18, veja-se que os valores de IVE se mantêm em todos os períodos de retorno. Isto significa que a MPN destes edifícios se mantém com o aumento do período de retorno dos eventos de cheia, uma vez que os incrementos na porção afectada, altura de água e/ou velocidade são pouco expressivos (tabela 9.8). Pode, assim, entender-se que a vulnerabilidade estrutural dos edifícios do Lugar do Bico sofre poucas ou nenhuma variação com o aumento da magnitude das cheias rápidas. Ou seja, estes edifícios são afectados com frequência por estes fenómenos naturais, mas estima-se que não haja uma tendência linear ou exponencial de aumento de consequências com o incremento do período de retorno, ao contrário do que o IVE parece indicar para outros edifícios na área de estudo (tabela 9.10 e figura 9.14).

Os resultados do IVE demonstram uma evolução ascendente expectável da vulnerabilidade estrutural da maioria dos edifícios na área de estudo (tabela 9.10 e figura 9.14), motivada pelo incremento da MPN (tabela 9.8 e figura 9.13). Isto é mais notório na área industrial do Bico e no edifício nº 24. Apesar de serem edifícios cujas características os tornam menos vulneráveis (VI) às cheias do que os restantes, a importância da porção afectada, da altura de água e da velocidade do escoamento acentua-se com o aumento do período de retorno (MPN).

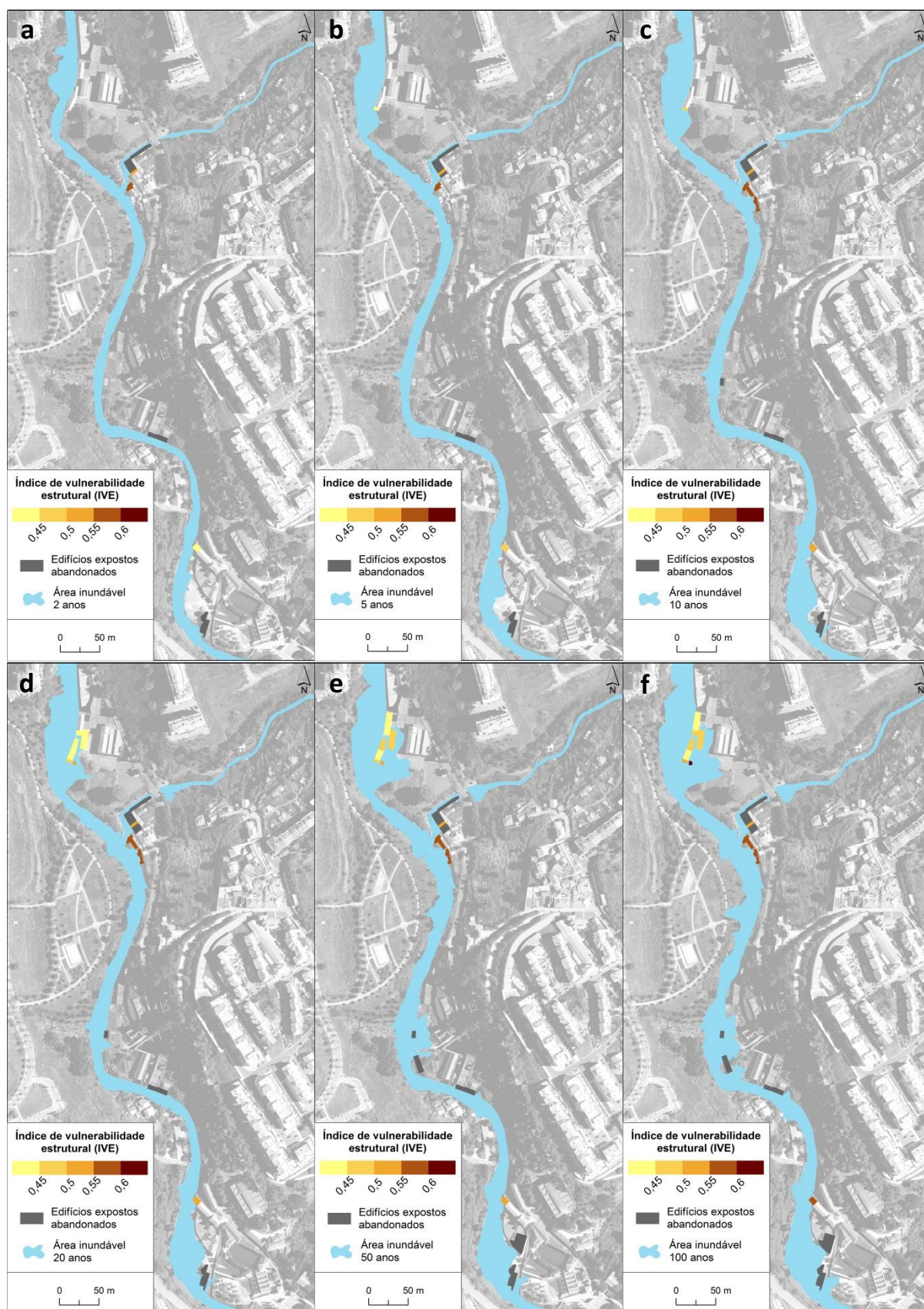


Figura 9.14 Índice de vulnerabilidade estrutural (IVE) dos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com períodos de retorno de 2 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 50 (e) e 100 anos (f).

9.4. VALOR E DANOS POTENCIAIS

Como se viu ao longo do ponto 9.3, os edifícios expostos no sector estudado da bacia de Barcarena apresentam diferentes graus de vulnerabilidade estrutural às cheias rápidas. Também o valor económico (VE) de cada edifício difere, o que se irá reflectir em eventuais danos (DP) causados quando ocorrem estes fenómenos naturais.

9.4.1. Valor económico (VE)

O VE dos 13 edifícios expostos foi obtido através da conjugação entre o custo de construção/reconstrução (CCR), o coeficiente de afectação (CA) e o coeficiente de localização (CL). O valor do CCR de um edifício é tanto maior quanto for a sua área, pois o CCR/m² é um valor fixo ajustado anualmente. O CA é definido pela função do edifício, sendo atribuído um valor de 0,6 aos edifícios industriais e logísticos, de 0,45 aos residenciais em condições deficientes de habitação e de 1,1 aos destinados à prestação de serviços. O CL é determinado pela Autoridade Tributária e Aduaneira, sendo que, para a área de estudo, os valores são de 1,2 para edifícios industriais e logísticos, de 1,7 para edifícios habitacionais e de 1,3 para edifícios de prestação de serviços. Os valores destas três variáveis para cada um dos edifícios expostos, assim como o seu VE estão presentes na tabela 9.11. Refira-se que o edifício nº 24 (institucional/educação) foi considerado como de prestação de serviços, dado que, das categorias referenciadas no Decreto-Lei nº 287/2003, esta é aquela em que melhor se encaixa.

O VE dos edifícios expostos na área de estudo totaliza 971.044 €, com um valor médio de 74.696 €. Importa constatar que o VE de um edifício poderá ser inferior ou superior ao seu valor de CCR devido à influência do CA e do CL. No caso dos 13 edifícios expostos, o VE é sempre inferior ao CCR, excepto no edifício nº 24 por causa da sua função (tabela 9.11). Se fosse utilizado o CCR como avaliador do valor dos edifícios expostos, estes totalizariam 1.281.526 € e atingiriam um montante médio de 98.579 €, ou seja, valores superiores aos estimados pelo VE. Individualmente, o VE varia entre 11.849 € no edifício nº 18 e 231.860 € no edifício nº 2 (tabela 9.11 e figura 9.15). Atendendo a que o CCR é obtido em função da área do edifício, aqueles que têm maior dimensão são os que possuem os maiores VE. São os casos dos edifícios nº 1, 2, 4 e 5, todos eles com 2 pisos e localizados na área industrial do Bico. Porém, se forem tomados em consideração os valores ponderados (VE/m²), o edifício mais valioso é o nº 24 (1163 €/m²), dado que, como foi mencionado atrás, o seu valor de CA faz aumentar a sua cotação face aos edifícios industriais/logísticos e de habitação de cariz precário.

Tabela 9.11 Valor económico (VE) em € dos edifícios expostos na área de estudo e resultados das variáveis utilizadas para a sua obtenção.

Edifício	Área (m ²)	CCR (€)	CA	CL	Valor económico (VE) (€)
1	359,7	292.523	0,6	1,2	210.617
2	396,0	322.028	0,6	1,2	231.860
3	48,0	39.061	0,6	1,2	28.124
4	200,3	162.857	0,6	1,2	117.257
5	192,2	156.317	0,6	1,2	112.548
6	26,3	21.354	0,6	1,2	15.375
7	22,3	18.129	0,6	1,2	13.053
13	73,5	59.744	0,45	1,7	45.704
16	61,7	50.182	0,45	1,7	38.389
17	51,2	41.630	0,45	1,7	31.847
18	19,0	15.489	0,45	1,7	11.849
19	58,7	47.731	0,45	1,7	36.514
24	67,0	54.479	1,1	1,3	77.906
Média	121,2	98.579	-	-	74.696
Total	1575,9	1.281.526	-	-	971.044

CCR – custo de construção/reconstrução do edifício; CA – coeficiente de afectação; CL – coeficiente de localização.

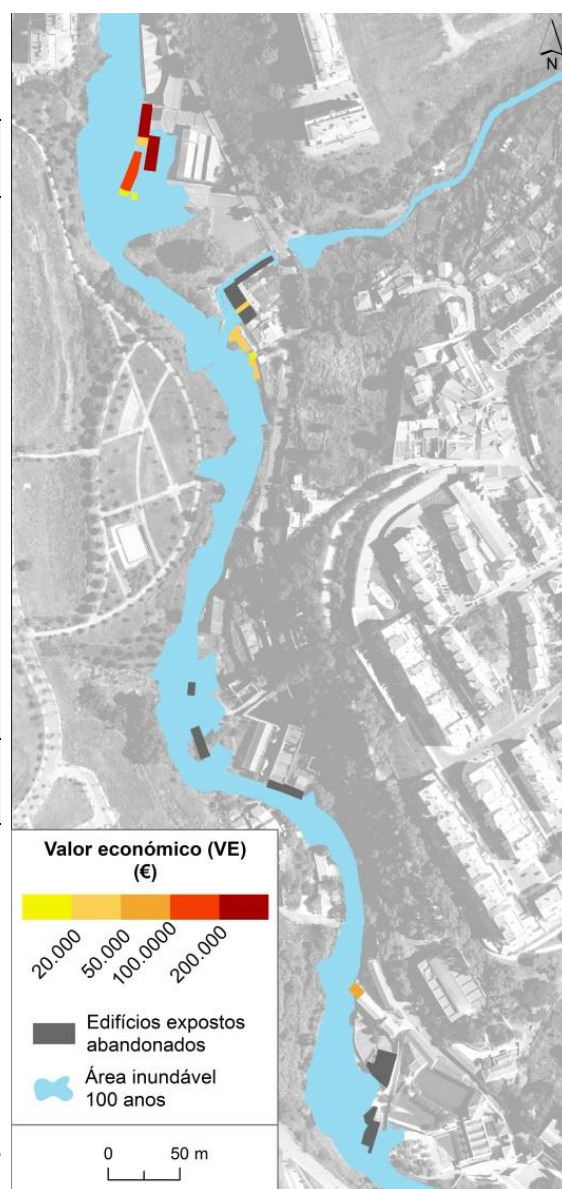


Figura 9.15 Valor económico (VE) em € dos elementos expostos na área de estudo.

9.4.2. Danos potenciais (DP)

Os DP representam uma estimativa monetária da vulnerabilidade dos elementos expostos a um determinado fenómeno natural, neste caso às cheias rápidas. Estes foram determinados para os edifícios expostos na área de estudo da bacia de Barcarena através do produto entre o valor económico (VE) e o índice de vulnerabilidade estrutural (IVE).

Apesar dos DP dos edifícios serem obtidos em função dos respectivos valores do IVE, que os fazem aproximar-se (IVE elevado) ou distanciarem-se (IVE baixo) do seu VE, os danos em termos absolutos são, sobretudo, condicionados pelo VE. Não são os edifícios com maior IVE que têm os DP mais elevados, mas sim aqueles que possuem os maiores VE, pois existe uma maior superfície potencialmente afectada e com necessidade de ser reparada/reconstruída. Ainda assim, quanto mais elevado for o IVE de um determinado edifício, mais próximos os DP serão do respectivo VE. Na pior

das hipóteses, os DP serão iguais ao VE, o que significa a perda total do edifício em causa. No entanto, é importante não esquecer que, em caso de perda total, a reconstrução do edifício poderá exceder o seu VE, sempre que o seu CCR seja superior. Os resultados dos DP para os seis períodos de retorno considerados podem ser vistos na tabela 9.12 e figura 9.16.

Os DP para o conjunto de edifícios expostos na área de estudo sobem de 76.287 € no período de retorno de 2 anos para 448.051 € no período de retorno de 100 anos. O aumento mais evidente regista-se na passagem de 10 para 20 anos, motivado pela “entrada” da maioria dos edifícios da área industrial do Bico (tabela 9.12). Em termos médios, verifica-se um acréscimo dos DP de 5868 € (2 anos) para 34.465 € (100 anos). A título individual, os DP dos edifícios expostos variam entre 5213 € e 108.719 €. O valor mínimo foi estimado para o edifício nº 6 para o período de retorno de 5 anos, enquanto o valor máximo foi estimado para o edifício nº 2 para os períodos de retorno de 50 e 100 anos (tabela 9.12 e figura 9.16).

Vale a pena destacar mais alguns aspectos relevantes. Em primeiro lugar, os DP estimados para os edifícios do Lugar do Bico não excedem os 25 mil € em nenhum período de retorno (tabela 9.12 e figura 9.16). O segundo ponto a reter refere-se aos DP superiores a 50 mil €, que se estima que só sejam atingidos nos edifícios nº 1, 2 e 4, e nunca motivados por eventos de cheia com recorrência inferior a 20 anos (tabela 9.12 e figura 9.16). Em último lugar, o edifício nº 24 é o único para o qual se estima que os DP aumentem em três períodos de retorno: 1) de 2 para 5 anos (32.060 € para 37.249 €); 2) de 5 para 10 anos (de 37.249 € para 42.437 €); e 3) de 50 para 100 anos (42.437 € para 45.680 €).

Tendo em conta que os DP mais elevados coincidem com os maiores VE que, como se sabe, estão muito dependentes da área do edifício afectado, os DP foram ponderados pelas respectivas áreas: DP/m² (tabela 9.13 e figura 9.17). Estes valores revelam uma realidade bastante diferente da demonstrada anteriormente. Uma primeira perspectiva é evidenciada pelos valores totais, sendo que, neste contexto, estes devem ser entendidos como os resultados da divisão entre os totais obtidos na tabela 9.12 e o somatório das áreas dos edifícios expostos em cada recorrência. Os valores totais apontam para o período de retorno de 10 anos como aquele em que são atingidos os DP/m² mais elevados: 389 €/m² (tabela 9.13). Isto é justificável pelo facto de a maioria dos edifícios da área industrial do Bico, cujos valores são os mais baixos do conjunto de 13 edifícios, não estarem expostos neste período de retorno. A partir dos 20 anos, o valor de DP/m² volta a aumentar até aos 100 anos, embora fique bastante aquém do valor alcançado aos 10 anos. Apesar da perspectiva demonstrada pelos totais nas várias recorrências, a análise deve, essencialmente, centrar-se nos edifícios enquanto elementos individuais ou nos subconjuntos de edifícios (figura 9.3).

Tabela 9.12 Danos potenciais (DP) em € nos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com diferentes períodos de retorno.

Edifício	VE (€)	IVE						Danos potenciais (DP) (em €)					
		2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
1	210.617	-	-	-	-	0,34	0,34	-	-	-	-	72.457	72.457
2	231.860	-	-	-	0,39	0,47	0,47	-	-	-	89.417	108.719	108.719
3	28.124	-	-	-	0,41	0,41	0,48	-	-	-	11.549	11.549	13.422
4	117.257	-	-	-	0,39	0,45	0,45	-	-	-	45.220	53.029	53.029
5	112.548	-	-	-	0,36	0,42	0,42	-	-	-	40.028	47.524	47.524
6	15.375	-	0,34	0,45	0,45	0,45	0,51	-	5213	6877	6877	6877	7901
7	13.053	-	-	-	0,54	0,54	0,61	-	-	-	7067	7067	7936
13	45.704	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	23.150	23.150	23.150	23.150	23.150	23.150
16	38.389	0,55	0,55	0,59	0,59	0,59	0,59	21.077	21.077	22.675	22.675	22.675	22.675
17	31.847	-	-	0,55	0,55	0,55	0,55	-	-	17.485	17.485	17.485	17.485
18	11.849	-	-	0,55	0,55	0,55	0,55	-	-	6506	6506	6506	6506
19	36.514	-	-	0,55	0,59	0,59	0,59	-	-	20.047	21.567	21.567	21.567
24	77.906	0,41	0,48	0,54	0,54	0,54	0,59	32.060	37.249	42.437	42.437	42.437	45.680
Média	74.696	0,11	0,14	0,29	0,45	0,49	0,51	5868	6668	10.706	25.691	33.926	34.465
Total	971.044	-	-	-	-	-	-	76.287	86.688	139.176	333.977	441.042	448.051

VE – valor económico do edifício (€); IVE – índice de vulnerabilidade estrutural.

Tabela 9.13 Danos potenciais (DP) em €/m² nos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com diferentes períodos de retorno.

Edifício	Área (m ²)	Danos potenciais (DP) (€/m ²)					
		2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
1	359,7	-	-	-	-	201	201
2	396,0	-	-	-	226	275	275
3	48,0	-	-	-	240	240	279
4	200,3	-	-	-	226	265	265
5	192,2	-	-	-	208	247	247
6	26,3	-	198	262	262	262	301
7	22,3	-	-	-	317	317	356
13	73,5	315	315	315	315	315	315
16	61,7	342	342	367	367	367	367
17	51,2	-	-	342	342	342	342
18	19,0	-	-	342	342	342	342
19	58,7	-	-	342	367	367	367
24	67,0	479	556	633	633	633	682
Total*	1575,9	377	379	389	275	280	284

* Correspondem aos valores totais apresentados na tabela 9.12 ponderados pela soma das áreas (m²) dos edifícios expostos em cada período de retorno.

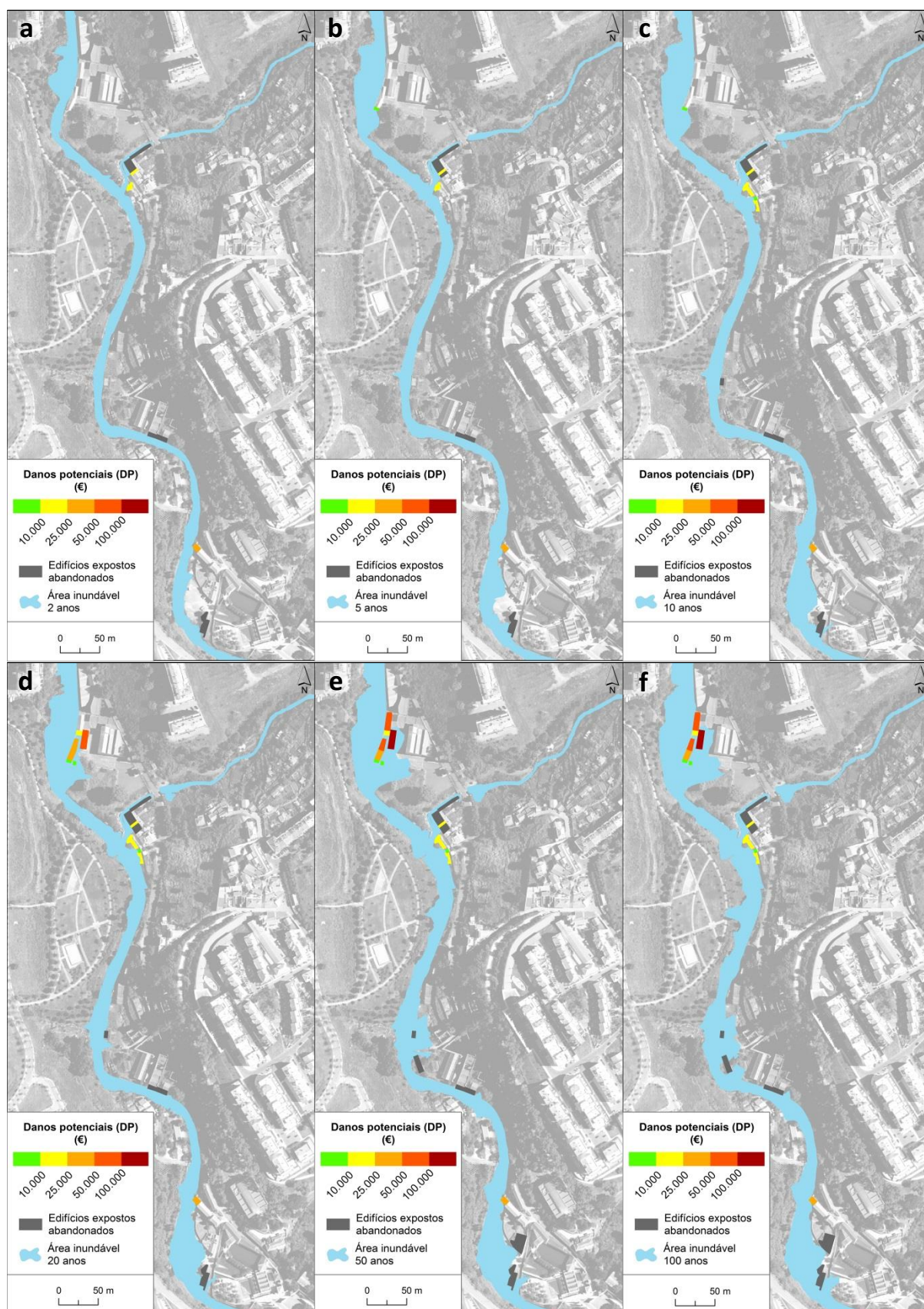


Figura 9.16 Danos potenciais (DP) em € dos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com períodos de retorno de 2 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 50 (e) e 100 anos (f).

Anulando o efeito da área, os edifícios da área industrial do Bico passam a deter os valores mais baixos (tabela 9.13 e figura 9.17), com excepção do edifício nº 7 que possui o IVE mais elevado (tabela 9.10 e figura 9.14). Em contraponto, verifica-se um incremento na importância dos danos potenciais dos edifícios localizados no Lugar do Bico, comparativamente à anterior realidade, com valores a superar os 300 €/m². No entanto, o edifício nº 24 é o que mais se destaca, suplantando os restantes edifícios expostos de forma notória. Os 682 €/m² estimados para o período de retorno de 100 anos representam mais do triplo do valor obtido para o edifício nº 1: 201 €/m² (tabela 9.13). Estes dois edifícios constituem claramente os *outliers*. O primeiro destaca-se dos restantes porque possui um IVE elevado (0,59) e porque o seu coeficiente de afectação (CA = 1,1 resultante da sua função institucional/educação) permite exponenciar o seu VE (tabela 9.11). O edifício nº 1 é aquele que apresenta o valor de IVE mais reduzido, algo que se reflecte de forma decisiva no baixo valor de DP/m². Neste contexto, o valor de CA definido para os edifícios industriais, logísticos e habitacionais acaba por fazer decrescer os VE dos edifícios situados na área industrial do Bico e no Lugar do Bico, especialmente quando comparados com o VE do edifício nº 24. Ainda assim, os edifícios do Lugar do Bico possuem valores de DP/m² superiores aos dos localizados na área industrial do Bico devido aos valores de IVE mais elevados (tabela 9.10 e figura 9.14). De novo, a excepção é o edifício nº 7.

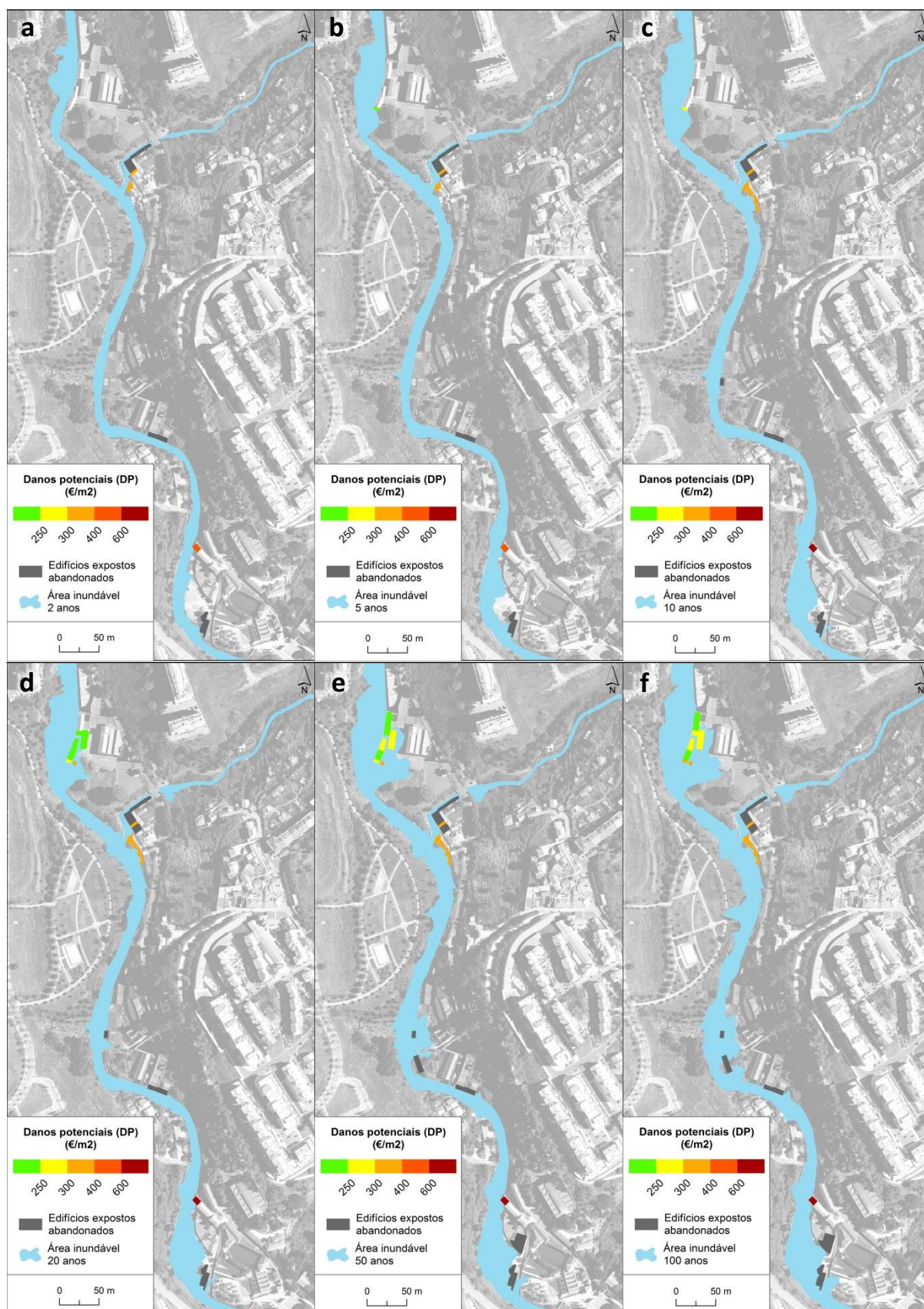


Figura 9.17 Danos potenciais (DP) em €/m² dos edifícios expostos na área de estudo para eventos de cheia com períodos de retorno de 2 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 50 (e) e 100 anos (f).

SÍNTESE DO CAPÍTULO 9

Ao longo deste capítulo pretendeu-se determinar a exposição, avaliar a vulnerabilidade e estimar o valor e os danos potenciais nos edifícios expostos decorrentes de cheias rápidas num sector crítico da bacia hidrográfica de Barcarena. A análise empreendida foi realizada à escala local e resultou do cruzamento espacial entre as áreas inundáveis/perigosidade e os edifícios expostos.

O conjunto de 26 edifícios expostos na área de estudo foi agrupado em quatro áreas: 1) área industrial do Bico – 7 edifícios expostos; 2) Lugar do Bico – 12 edifícios expostos; 3) Fábrica da Pólvora norte – 4 edifícios expostos; e 4) Fábrica da Pólvora sul – 3 edifícios expostos. Metade destes edifícios está, actualmente, abandonada, por serem instalações da antiga Fábrica da Pólvora ou, no caso do Lugar do Bico, por serem afectadas com frequência pelas cheias rápidas da ribeira de Massamá. Dos 13 edifícios expostos ocupados, existem 7 industriais ou logísticos, localizados na área industrial do Bico, 5 habitacionais, situados no Lugar do Bico, e 1 de cariz administrativo que pertence à Universidade Atlântica, presente na área mais a sul do sector estudado. A função e a utilização por parte dos habitantes ou utilizadores fazem com que os edifícios tenham graus de exposição distintos às cheias. Considerou-se que os edifícios residenciais possuem uma exposição temporal moderada no período diurno dos dias úteis, elevada no período diurno dos fins-de-semana/feriados e muito elevada no período nocturno. Os edifícios ligados a actividades laborais (indústria, logística e serviços) apresentam exposição muito elevada no 1º período e nula ou reduzida no 2º e 3º períodos.

O número de edifícios expostos (26 no total, 13 ocupados) refere-se a eventos de cheia com período de retorno igual ou superior a 50 anos. Isto significa que um evento com recorrência de 50 anos afecta tantos edifícios como a cheia centenária. Em comparação com estes períodos de retorno, a quantidade de edifícios expostos (11 no total, 3 ocupados) no período de retorno mais baixo (2 anos) é, naturalmente, bastante inferior. Ainda assim, persiste um elevado número de edifícios expostos durante eventos frequentes. Tal constitui um testemunho dos erros de ordenamento do território cometidos no passado, parcialmente resolvidos como mostra a ausência de ocupação em 73% deles, mas não na totalidade, já que subsistem três edifícios habitualmente expostos a cheias, dois no Lugar do Bico e um na Fábrica da Pólvora sul, a área mais a jusante (edifício nº 24).

A vulnerabilidade estrutural dos edifícios expostos foi avaliada através de uma metodologia com base em indicadores considerados relevantes quando ocorrem cheias rápidas. A combinação entre a vulnerabilidade intrínseca (VI) dos edifícios e a forma como são afectados pela magnitude do processo natural (MPN) determinou os resultados do índice de vulnerabilidade estrutural (IVE). A VI foi avaliada por cinco características estruturais/físicas dos edifícios: estrutura e materiais de construção; condição e estado de conservação; entradas expostas; idade; e número de pisos. Os seus

resultados demonstraram que os edifícios mais vulneráveis situam-se no Lugar do Bico (0,82), no essencial devido à ausência de estrutura de betão, à condição/estado de conservação deficientes e à existência de entradas expostas do lado do curso de água.

A MPN foi obtida por três características do escoamento em eventos de cheia com diferentes períodos de retorno: porção afectada do edifício; altura de água; e velocidade do escoamento. Enquanto os períodos de retorno de 10 e 20 anos são muito relevantes no aumento do número de edifícios expostos, é aos 50 ou aos 100 anos, dependendo do edifício, que a porção afectada, a altura de água e/ou a velocidade superam, na maioria das vezes, os limiares críticos definidos. Contudo, os valores médios de altura de água e de velocidade nunca alcançam o limiar crítico superior (2 m ou 2 m/s) junto a nenhum dos edifícios em nenhuma das recorrências. Na MPN a situação inverte-se, com as habitações do Lugar do Bico a serem pouco vulneráveis (0,28 a 0,37), uma vez que a sua porção afectada é baixa e os valores de altura de água e de velocidade junto aos edifícios são reduzidos. Numa posição oposta encontram-se dois edifícios situados na área industrial do Bico e um edifício situado na Fábrica da Pólvora sul, com os valores de MPN mais elevados dos edifícios expostos (0,67 e 0,63 aos 100 anos).

Os resultados do IVE ditaram uma diferenciação entre os edifícios, com valores de 0,61 (edifício mais vulnerável às cheias rápidas, no sector da área industrial do Bico) e de 0,59 (dois edifícios no Lugar do Bico e um na Fábrica da Pólvora sul), para o período de retorno de 100 anos; em condições opostas encontra-se o edifício situado mais a montante da área industrial do Bico, com menor vulnerabilidade estrutural (0,34 aos 50 e 100 anos).

O somatório do valor económico (VE) dos 13 edifícios expostos atinge 971.044 €. Em média, o VE desses edifícios é de 74.696 €. O mais elevado pertence a um edifício situado na área industrial do Bico (231.860 €), aquele que possui a maior área, e o mais baixo foi obtido para um edifício situado no Lugar do Bico (11.849 €), o mais pequeno dos edifícios expostos.

A estimativa dos danos potenciais (DP) para cada período de retorno resultou do produto do VE pelo IVE. Estes valores são muito importantes na análise do risco, porque permitem a quantificação dos danos, ainda que, neste caso, sejam apenas danos potenciais. Os valores totais de DP aumentaram de 76.287 € (2 anos) para 448.051 € (100 anos). Os valores médios subiram de 5868 € (2 anos) para 34.465 € (100 anos). Verificou-se que os DP estão, de novo, muito dependentes da área dos edifícios, com os valores mais elevados a pertencerem aos edifícios de maior dimensão e os mais reduzidos aos de menor dimensão. Os DP/m² mostraram uma realidade distinta, em que se estima que os valores mais elevados correspondem a 682 €/m² aos 100 anos (edifício situado na Fábrica da Pólvora sul) e os mais baixos a 201 €/m² aos 50 e aos 100 anos (o edifício mais a montante da área industrial do Bico).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - CAPÍTULO 9

- Balica, S.F., Douben, N., Wright, N.G., 2009. Flood vulnerability indices at varying spatial scales. *Water Sci. Technol.* 60, 2571–2580. doi:10.2166/wst.2009.183
- Barnett, J., Lambert, S., Fry, I., Barnett, J., Lambert, S., Fry, I., 2008. The Hazards of Indicators: Insights from the Environmental Vulnerability Index. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 98, 102–119. doi:10.1080/00045600701734315
- Barroca, B., Bernardara, P., Mouchel, J., Hubert, G., 2006. Indicators for identification of urban flooding vulnerability. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 6, 553–561. doi:10.5194/nhess-6-553-2006
- Camarasa-Belmonte, A.M., López-García, M.J., Soriano-García, J., 2011. Mapping temporally-variable exposure to flooding in small Mediterranean basins using land-use indicators. *Appl. Geogr.* 31, 136–145. doi:10.1016/j.apgeog.2010.03.003
- Cutter, S.L., Burton, C.G., Emrich, C.T., 2010. Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. *J. Homel. Secur. Emerg. Manag.* 7, 1–22. doi:10.2202/1547-7355.1732
- D'Ayala, D., Aktas, Y.D., 2016. Moisture dynamics in the masonry fabric of historic buildings subjected to wind-driven rain and flooding. *Build. Environ.* 104, 208–220. doi:10.1016/j.buildenv.2016.05.015
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Pallikarakis, A., Skordoulis, M., 2017. Identifying elements that affect the probability of buildings to suffer flooding in urban areas using Google Street View. A case study from Athens metropolitan area in Greece. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 22, 1–9. doi:10.1016/j.ijdr.2017.02.002
- Fedeski, M., Gwilliam, J., 2007. Urban sustainability in the presence of flood and geological hazards: The development of a GIS-based vulnerability and risk assessment methodology. *Landsc. Urban Plan.* 83, 50–61. doi:10.1016/j.landurbplan.2007.05.012
- Fuchs, S., Heiss, K., Hübl, J., 2007. Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 7, 495–506. doi:10.5194/nhess-7-495-2007
- Fuchs, S., 2009. Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria - paradigms of vulnerability revisited. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 337–352. doi:10.5194/nhess-9-337-2009
- Guillard-Gonçalves, C., Zêzere, J.L., Pereira, S., Garcia, R.A.C., 2016. Assessment of physical vulnerability of buildings and analysis of landslide risk at the municipal scale: application to the Loures municipality, Portugal. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, 311–331. doi:10.5194/nhess-16-311-2016
- INE, 2011. Manual do recenseador. XV recenseamento geral da população e V recenseamento geral da habitação. Instituto Nacional de Estatística.
- Ishigaki, T., Kawanaka, R., Onishi, Y., Shimada, H., Toda, K., Baba, Y., 2009. Assessment of Safety on Evacuating Route During Underground Flooding, in: *Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 141–146. doi:10.1007/978-3-540-89465-0_27
- Jha, A.K., Bloch, R., Lamond, J., 2012. Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. World Bank. doi:10.1596/978-0-8213-8866-2
- Julião, R.P., Nery, F., Ribeiro, J.L., Branco, M.C., Zêzere, J.L., 2009. Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal. Autoridade Nacional de Protecção Civil, Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Instituto Geográfico Português.
- Kappes, M.S., Papathoma-Köhle, M., Keiler, M., 2012. Assessing physical vulnerability for multi-

- hazards using an indicator-based methodology. *Appl. Geogr.* 32, 577–590. doi:10.1016/j.apgeog.2011.07.002
- Karagiorgos, K., Thaler, T., Heiser, M., Hübl, J., Fuchs, S., 2016. Integrated flash flood vulnerability assessment: Insights from East. *J. Hydrol.* 541, 553–562. doi:10.1016/j.jhydrol.2016.02.052
- Kelman, I., Spence, R., 2004. An overview of flood actions on buildings. *Eng. Geol.* 73, 297–309. doi:10.1016/j.enggeo.2004.01.010
- Kreibich, H., Piroth, K., Seifert, I., Maiwald, H., Kunert, U., Schwarz, J., Merz, B., Thieken, A.H., 2009. Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling? *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 1679–1692. doi:10.5194/nhess-9-1679-2009
- Marco, J.B., 1994. Flood risk mapping, in: Rossi, G., Harmancioğlu, N., Yevjevich, V. (Eds.), *Coping with Floods. NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences)*, vol 257. Springer, Dordrecht, pp. 353–373. doi:10.1007/978-94-011-1098-3_20
- Milanesi, L., Pilotti, M., Belleri, A., Marini, A., Fuchs, S., 2018. Vulnerability to Flash Floods: A Simplified Structural Model for Masonry Buildings. *Water Resour. Res.* 7177–7197. doi:10.1029/2018WR022577
- Müller, A., Reiter, J., Weiland, U., 2011. Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach – a case study for Santiago de Chile. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 11, 2107–2123. doi:10.5194/nhess-11-2107-2011
- Papathoma-Köhle, M., Kappes, M., Keiler, M., Glade, T., 2011. Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. *Nat. Hazards* 58, 645–680. doi:10.1007/s11069-010-9632-4
- Papathoma-Köhle, M., 2016. Vulnerability curves vs. vulnerability indicators: application of an indicator-based methodology for debris-flow hazards. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, 1771–1790. doi:10.5194/nhess-16-1771-2016
- Papathoma-Köhle, M., Cristofari, G., Wenk, M., Fuchs, S., 2019. The importance of indicator weights for vulnerability indices and implications for decision making in disaster management. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* doi:10.1016/j.ijdrr.2019.101103
- Penning-Rowsell, E., Johnson, C., Tunstall, S., Tapsell, S., Morris, J., Chatterton, J., Green, C., 2005. *The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Handbook of Assessment Techniques.* Middlesex University Press. doi:10.1596/978-0-8213-8050-5
- Quintela, A.C., Cardoso, J.L., Mascarenhas, J.M., 2000. *A Fábrica da Pólvora de Barcarena - Catálogo do Museu da Pólvora Negra.* Câmara Municipal de Oeiras.
- Rød, J.K., Opach, T., Neset, T.-S., 2015. Three core activities toward a relevant integrated vulnerability assessment: validate, visualize, and negotiate. *J. Risk Res.* 18, 877–895. doi:10.1080/13669877.2014.923027
- Silva, M., Pereira, S., 2014. Assessment of physical vulnerability and potential losses of buildings due to shallow slides. *Nat. Hazards* 72, 1029–1050. doi:10.1007/s11069-014-1052-4
- Smith, K., 1991. *Environmental Hazards: assessing risk and reducing disaster.* Routledge.
- Stephenson, V., D’Ayala, D., 2014. A new approach to flood vulnerability assessment for historic buildings in England. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14, 1035–1048. doi:10.5194/nhess-14-1035-2014

CONCLUSÕES

As cheias e inundações podem ser analisadas a diferentes escalas, em função das áreas de estudo, dos objectivos da investigação e do nível de detalhe dos resultados que se pretende atingir. Como consequência, os dados utilizados e as metodologias empregadas devem ser adaptadas às escalas de análise. Esta dissertação pretendeu analisar, para diversas escalas, as cheias e inundações enquanto processo natural e os seus efeitos na AML, um território com um importante historial de consequências ligadas a estes fenómenos. Esta tese é constituída por três partes, mas existem dois blocos fundamentais que traduzem os principais resultados e novos conhecimentos proporcionados por esta investigação: 1) os danos humanos e materiais associados a vários tipos de inundações na AML; e 2) as componentes do risco de cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena.

Recordam-se de seguida os cinco objectivos específicos mencionados no início da dissertação, cuja concretização está expressa ao longo dos nove capítulos e se se sintetiza ao longo das próximas páginas:

1) Caracterizar a AML do ponto de vista físico, humano e da ocupação do solo, compreendendo os padrões espaciais e temporais dos factores condicionantes e desencadeantes das cheias e inundações na AML **(capítulos 1 e 2)**;

2) Discutir e explorar os conceitos e metodologias utilizados no âmbito dos tipos de inundações que afectam a AML e das componentes do risco, assim como demonstrar a relevância das fontes de informação e bases de dados na estimativa dos danos **(capítulos 3 e 6)**;

3) Quantificar os danos humanos e materiais resultantes das cheias e inundações na AML e compreender como a expansão urbana e as opções de ordenamento do território influenciaram a distribuição espacial e a evolução temporal dos vários tipos de inundações e dos respectivos danos **(capítulos 4 e 5)**;

4) Analisar os factores condicionantes das cheias rápidas na bacia hidrográfica de Barcarena e identificar os troços mais susceptíveis às cheias rápidas da bacia hidrográfica de Barcarena, estimando também os caudais de ponta de cheia para diversos períodos de retorno **(capítulos 7 e 8)**;

5) Avaliar as componentes do risco de cheias rápidas num sector crítico da bacia de Barcarena, nomeadamente a perigosidade, exposição, vulnerabilidade, valor económico dos elementos expostos e danos potenciais **(capítulos 8 e 9)**.

A AML é uma região muito diversa do ponto de vista físico, humano e da ocupação do solo. Essa diversidade, o contraste norte-sul no regime de precipitação e a variação da exposição e vulnerabilidade às cheias e inundações ao longo do tempo explicam, em grande medida, a distribuição espacial e a evolução temporal das ocorrências causadas por estes fenómenos naturais. Os vários tipos de inundações geraram danos humanos e materiais distintos na AML, demonstrando a sua diferente capacidade destruidora. A sua importância variou no espaço e no tempo devido às modificações existentes neste território nas últimas décadas. As cheias rápidas são o tipo de inundações mais perigoso neste contexto geográfico e, como tal, mereceram destaque na avaliação das componentes do risco para a bacia hidrográfica de Barcarena.

O **capítulo 1** representa o enquadramento e a base de toda a investigação, descrevendo e caracterizando a AML enquanto território físico e humano. Esta região é marcada pela diversidade litológica, onde predominam as formações sedimentares, como calcários, margas ou arenitos, mas onde também existem formações magmáticas e metamórficas. Neste território de relevo moderado dominam as formas estruturais, não obstante a presença pontual de formas independentes da estrutura, como as plataformas litorais. Os pontos mais altos da AML encontram-se na Serra de Sintra (528 metros) e na cadeia da Arrábida (501 metros).

A permeabilidade dos terrenos, resultante das características litológicas e pedológicas e da ocupação do solo, e o relevo são os dois factores condicionantes fundamentais no desenvolvimento de cheias e inundações, pois controlam o escoamento superficial e o movimento da água nas 68 pequenas bacias hidrográficas que drenam a AML. Em termos globais, as bacias da AML Norte apresentam maior susceptibilidade a este tipo de fenómenos naturais comparativamente às bacias da AML Sul. Isto deve-se aos seus declives mais acentuados (declive médio de 7,1° contra 1,8°), à maior extensão das formações com permeabilidade reduzida (vulcânicas, margosas e argilosas em oposição às arenosas e cascalhentas da AML Sul), ao predomínio de solos pouco permeáveis (solos de textura fina/argilosa contra solos de textura grosseira/arenosa) e à maior porção de áreas edificadas (27% contra 15%). A menor dimensão média das bacias da AML Norte (33 km² contra 124 km²) e as suas maiores inclinações proporcionam igualmente tempos de concentração mais baixos em comparação com as bacias da AML Sul (3h32m contra 5h26m). Também a maior quantidade de edifícios e habitantes na AML Norte se traduz numa maior exposição às inundações urbanas.

Outro factor que acentua a dissimetria norte-sul no que às cheias e inundações diz respeito é a precipitação (**capítulo 2**). Os valores médios de precipitação são mais elevados na AML Norte do que na AML Sul. Esta realidade é justificada pela posição de abrigo da AML Sul aos ventos dominantes de norte e noroeste e pela sua menor rugosidade topográfica. A uma escala mais detalhada, a altitude é o principal factor com influência na distribuição espacial da precipitação na AML, algo que ajuda também a explicar as diferenças nos valores entre a AML Norte e a AML Sul.

O efeito da altitude é igualmente notório na distribuição espacial das precipitações acima dos percentis 90 (18,3 mm/dia), 95 (25,6 mm/dia) e 99 (43,5 mm/dia) e nas precipitações abundantes (iguais ou superiores a 40 mm diários). Estes são valores muito relevantes no desencadeamento de cheias rápidas e/ou inundações urbanas. Pelo contrário, a repartição espacial das precipitações muito abundantes (iguais ou superiores a 100 mm diários) e das precipitações máximas na AML em nada está relacionada com a altitude, mas sim com as trajectórias das tempestades.

Os valores mais elevados ocorreram durante os eventos extremos de precipitação de Novembro de 1967, Novembro de 1983 e Fevereiro de 2008. A precipitação máxima registada na AML em 24 horas foi de 181 mm durante o evento de 1983. Importa salientar que os valores atingidos em 6 ou 12 horas podem até ser mais importantes do que os registos diários na análise das cheias rápidas, já que estes períodos abrangem os tempos de concentração da maioria das bacias da AML. No caso das inundações urbanas, é usual as precipitações desencadeantes serem bastante inferiores a 6 ou 12 horas. Em áreas muito impermeabilizadas, e em conjugação com outros factores agravantes, até podem ocorrer inundações em resultado de precipitações intensas com durações inferiores a uma hora.

Os valores de precipitação estimados através das curvas IDF para a estação de São Julião do Tojal (SJT) variam entre 17,9 mm em 1 hora e 54,3 mm em 24 horas para o período de retorno de 2 anos e entre 47,2 mm em 1 hora e 156,6 mm em 24 horas para uma recorrência de 100 anos. Os registos alcançados durante os eventos de 1967 e 1983 superaram os valores estimados para 100 anos em diversas durações. Durante o evento de 2008, a precipitação apenas superou o período de retorno de 50 anos na duração de 24 horas, atingindo, ainda assim, 149,1 mm.

A conjugação entre os factores condicionantes (naturais e antrópicos) e desencadeantes (precipitação) e a evolução temporal e espacial da exposição/vulnerabilidade fazem com que cada evento de cheia/inundação tenha características irrepetíveis e consequências distintas no território. Por outro lado, é fundamental associar os danos aos vários tipos de inundações existentes na AML: cheias progressivas, cheias rápidas e inundações urbanas (**capítulo 3**). Se no caso das cheias a sua definição, compreensão e abrangência são conhecidas, as inundações urbanas contêm uma multiplicidade de termos e subtipos associados, originando uma falta de consenso na comunidade científica. Associar as ocorrências aos subtipos referidos na bibliografia é também uma tarefa muitas vezes impossível devido à falta de informação. Como tal, foi adoptada uma classificação baseada nas características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas do território e na localização das ocorrências. Assim, as inundações urbanas subdividem-se em função da sua relação com a rede de drenagem. Quando ocorrem episódios de precipitação, o comportamento hidrológico do escoamento superficial em áreas urbanas/edificadas pode depender muito da rede de drenagem, mesmo que ela já não exista à superfície. É o que acontece nos municípios mais urbanizados da AML,

com destaque para Lisboa. Foram definidos os termos FREN (***F**looding **RE**lated to the ancient **N**atural drainage network*) e FUNN (***F**looding **UN**related to the present or ancient **N**atural drainage network*), permitindo a associação das ocorrências a estes dois subtipos de inundações urbanas e demonstrando que os seus danos humanos e materiais diferem de forma substancial.

As notícias de jornais compiladas na base de dados DISASTER possibilitaram a determinação dos danos humanos na AML no período 1865-2010 (**capítulo 4**). Em termos globais, foram registados 131 eventos DISASTER, 396 ocorrências DISASTER, 544 mortes, 3428 evacuados, 5973 desalojados e 9945 afectados na AML. Estes números representaram 24% das ocorrências DISASTER, 54% das mortes, 26% dos evacuados, 15% dos desalojados e 18% dos afectados em Portugal continental.

Espacialmente constatou-se uma forte disparidade entre a AML Norte e a AML Sul. A primeira contabilizou valores a rondar 90% do total da AML em todas as componentes analisadas. Tal é explicado pela maior susceptibilidade das suas bacias hidrográficas às cheias/inundações, pela sua maior exposição e/ou vulnerabilidade, devido ao maior número de edifícios e habitantes, e pelas dificuldades na cobertura noticiosa das cheias/inundações fora de Lisboa, associadas à falta de infra-estruturas rodoviárias durante o século XIX e as primeiras décadas do século XX. A análise espacial mostrou ainda uma dependência face aos principais cursos de água, com a disposição das ocorrências DISASTER a fazer-se, essencialmente, ao longo dos fundos de vale.

A nível temporal, foram identificados três períodos distintos: 1865-1930, 1931-1970 e 1971-2010. O segundo período foi, claramente, o mais importante com 52% dos eventos DISASTER, 55% das ocorrências DISASTER, 90% das mortes e 49% dos afectados registados no período 1865-2010. Esta realidade foi motivada pelo aumento da exposição e da vulnerabilidade, sobretudo às cheias rápidas, em resultado do incremento populacional e do número de edifícios. Ainda na primeira metade do século XX, o êxodo rural provocou um rápido crescimento do número de habitantes nas áreas mais periféricas de Lisboa e nos municípios adjacentes, que se instalaram, em muitos casos, em bairros constituídos por habitações precárias localizados nos fundos de vale. Este facto contribuiu de modo decisivo para as trágicas consequências do evento de 1967. Apesar do número de afectados (3299) ter sido mais elevado no evento de 1983, as ocorrências e os danos humanos resultantes registaram uma quebra significativa tanto nos números como na gravidade das consequências depois do evento de 1967.

Os registos das últimas décadas vieram provar que as cheias/inundações já não são capazes de provocar danos humanos semelhantes aos ocorridos no passado na AML. Tal está directamente relacionado com as cheias rápidas enquanto tipo de inundação mais frequente e perigoso na AML durante o período 1865-2010. O decréscimo dos edifícios e população exposta, a redução da sua vulnerabilidade e a diminuição das áreas afectáveis devido à canalização subterrânea dos cursos de água foram determinantes para a perda de importância das cheias rápidas depois do evento de 1967.

Actualmente, as vítimas mortais associadas a cheias rápidas só ocorrem em resultado de eventos extremos, tal como sucedeu no evento de 2008. As mortes actuais (em países desenvolvidos) são motivadas por razões diferentes das do passado. Há algumas décadas as pessoas morriam quando as habitações eram atingidas pelas cheias. Agora as mortes surgem sempre associadas à salvaguarda de bens materiais, nomeadamente automóveis, ou quando as pessoas circulam ou atravessam estradas junto aos cursos de água ou mesmo o próprio curso de água, nas suas viaturas ou a pé. A falsa sensação de segurança ou a falta de percepção da velocidade e da força dos rios/ribeiras leva-as a entrar na água de forma voluntária.

Fruto da progressiva canalização subterrânea dos cursos de água, as cheias rápidas foram sendo substituídas por FREN, que acentuaram a sua importância na AML na segunda metade do século XX. Ao contrário do verificado para as cheias rápidas, observou-se um incremento da exposição às FREN com o aumento da densidade populacional e do edificado na AML. Ainda assim, a sua menor capacidade destruidora e a diminuição da vulnerabilidade, em resultado da melhoria das condições dos edifícios/habitações, justificaram a redução ou mesmo o desaparecimento dos danos humanos em vários locais anteriormente afectados por cheias rápidas. As FUNN mantiveram a sua (baixa) importância ao longo do tempo, já que a sua propensão para gerar danos humanos é a menor de todos os tipos de inundações analisados.

Contudo, o número de ocorrências DISASTER mais baixo foi causado pelas cheias progressivas. O tempo necessário para que os rios inundem as suas margens, o conhecimento do fenómeno por parte das populações afectadas e a acção das barragens e gestão adequada das descargas efectuadas (nas últimas décadas) são os principais factores explicativos. De qualquer forma, não se pode dizer que os seus danos humanos tenham sido baixos, embora as suas consequências não tenham sido tão gravesas quanto outros tipos de inundações. Observou-se um número considerável de vítimas mortais associadas a cheias progressivas, relacionado com a inexistência de grandes barragens ao longo do rio Tejo no século XIX e nas primeiras décadas do século XX. Também a quantidade de pessoas evacuadas foi a mais elevada dos tipos de inundações considerados, já que as características das cheias progressivas permitem que as equipas de socorro concretizem evacuações, ao contrário do que, na maioria das situações, acontece nas cheias rápidas. As mortes mais recentes em consequência das cheias do rio Tejo na AML ocorreram durante a cheia centenária de Fevereiro de 1979 e a ocorrência mais recente com danos humanos data de 1996.

É num contexto de redução de ocorrências e danos humanos verificada nas décadas finais do século XX na AML que surge a análise dos danos materiais causados por cheias e inundações (**capítulo 5**). No período 2000-2011, foram contabilizados 3676 sinistros APS (18% do total nacional) e pagos 13.410.434 € em indemnizações (21% do total nacional) no decurso de 134 eventos. Tratando-se de apenas 12 anos não foi possível estabelecer quaisquer tendências de evolução

temporal. A nível espacial, existiram cinco aspectos fundamentais assentes, em grande medida, na coincidência entre a repartição dos sinistros APS e as áreas edificadas: 1) tal como nos danos humanos, um contraste notório norte-sul, com a AML Norte a registar 84% dos sinistros APS e 83% das indemnizações; 2) o concelho de Lisboa como a área mais importante da AML, onde se registaram 32% do total de sinistros APS; 3) os alinhamentos de sinistros APS ao longo das linhas ferroviárias de Cascais, Sintra e Vila Franca de Xira e da estrada nacional 8/auto-estrada A8 (Odivelas e Loures), coincidentes com os principais eixos de expansão urbana da AML durante o século XX; e 4) os *hotspots* localizados nas baixas de Algés, Sacavém e Setúbal, onde se verificaram elevadas concentrações de sinistros APS. A Praça da República, em Sacavém, foi identificada como o principal ponto crítico da AML no que ao número de sinistros APS diz respeito (16).

A relação entre a precipitação e o número de sinistros APS é pouco significativa, ou seja, a mesma precipitação pode originar dezenas ou até nenhum sinistro. Tal é justificado pela coincidência espacial entre sinistros APS e áreas edificadas e pela predominância das inundações urbanas no contexto actual da AML. Existem múltiplos factores com influência no comportamento hidrológico das áreas urbanas e que se podem manifestar a diferentes escalas, desde a trajectória da tempestade e repartição espacial e temporal da precipitação, às características físicas e antrópicas do território ou à limpeza das entradas na rede de água pluviais. A complexidade resultante da conjugação de todos estes factores pode ou não originar inundações urbanas, não sendo necessárias precipitações com elevada magnitude para que ocorram inundações com danos materiais, ao contrário do que sucede para os danos humanos. Não obstante a fraca associação entre precipitação e sinistros APS, foram identificados três níveis de propensão para ocorrência de inundações a partir das precipitações horárias da estação de SJT: 5-7 mm/hora (55%); 7,1-10,5 mm/hora (85%); e acima de 10,5 mm/hora (100%). No período 2000-2011, sempre que foram registados valores de precipitação acima de 10,5 mm/hora, existiu sempre, pelo menos, um sinistro APS num raio de 10 km da estação de SJT. Os valores apresentados não devem ser considerados limiares de precipitação porque a série de dados referente aos sinistros APS não é suficientemente longa, mas podem servir de referência para previsões de precipitação e sistemas de alerta de inundações urbanas naquela área.

À semelhança do efeito provocado pelo evento de 1967 na base de dados DISASTER, os danos materiais na AML foram claramente exponenciados pela existência do evento de Fevereiro de 2008, causando 867 sinistros APS (24% do total) e 5.326.942 € em indemnizações (40% do total). O facto das indemnizações decorrentes deste evento terem superado as indemnizações pagas nos oito primeiros anos da base de dados da APS (2000-2007) atesta a sua magnitude. O evento de 2008 contrariou o padrão dos outros eventos registados entre 2000 e 2011 na AML. Se para os restantes eventos não se observou uma relação significativa entre a precipitação e os danos materiais, o

mesmo não sucedeu durante o evento de 2008. Por norma, o número de sinistros APS/km² foi mais elevado nos municípios com precipitações mais elevadas, revelando a maior dependência dos sinistros APS face à precipitação durante este evento. Por outro lado, observou-se um menor grau de associação entre os danos materiais e as áreas edificadas, indiciando um comportamento mais natural do território durante o evento de 2008.

No período 2000-2011, as FUNN foram o tipo de inundação mais frequente (59% dos sinistros APS), seguido das FREN (36%). Nas indemnizações, as FREN foram mais importantes ao alcançarem metade dos montantes pagos pelas seguradoras, atestando o seu maior potencial para gerar danos em comparação com as FUNN (44%). As cheias rápidas registaram apenas 5% dos sinistros APS e 6% das indemnizações, algo que se explica, em grande medida, pelas medidas estruturais implementadas nos cursos de água nas últimas décadas. A perda de importância das cheias rápidas na AML, que já era notória no final do período analisado pela base de dados DISASTER, representou uma clara alteração da realidade desta região, com as inundações urbanas a assegurarem a dominância no século XXI.

Voltando ao evento de 2008, acentuou-se a importância das FREN nos sinistros APS, mas, sobretudo, nas indemnizações. As FREN foram responsáveis por 58% dos montantes pagos durante este evento. As indemnizações por sinistro APS causado pelas FREN atingiram 8287 €, enquanto o valor para as FUNN foi significativamente mais baixo (4660 €). Os dados do evento de 2008 sugerem que a quantidade de inundações ocorridas ao longo dos fundos de vale é superior durante eventos de elevada magnitude. Isto denota a importância do relevo, mesmo em áreas muito impermeabilizadas e onde os cursos de água já não se encontram à superfície. Muitas das ocorrências localizam-se nos mesmos locais anteriormente afectados por cheias rápidas, ou seja, antes da canalização subterrânea ou aterro dos cursos de água. Os episódios de precipitação mais recorrentes têm tendência para gerar FUNN e os eventos de precipitação de maior magnitude mais facilmente provocam FREN.

Para terminar a análise dos danos humanos e materiais na AML, salientam-se algumas conclusões e ideias-chave. A AML possui uma grande importância no contexto nacional, já que em 3% do território concentraram-se 1/4 das ocorrências DISASTER (1865-2010) e 1/5 dos sinistros APS (2000-2011). A repartição espacial das ocorrências DISASTER apresentou uma maior dependência dos cursos de água, enquanto a distribuição dos sinistros APS revelou uma maior associação às áreas edificadas. Apesar de abranger um período muito mais curto, a base de dados da APS registou um número bastante superior de sinistros (3676) em relação às ocorrências presentes na base de dados DISASTER (396), algo que está relacionado com as características das duas bases de dados. A clara modificação das consequências das cheias/inundações ao longo dos séculos XX e XXI é um facto sintomático da evolução socioeconómica da AML. O número de mortes decresceu de forma

acentuada depois do evento de 1967, verificando-se actualmente que estas só ocorrem em situações excepcionais. Por outro lado, contabilizam-se na actualidade elevados danos materiais em resultado destes fenómenos naturais, enquadrando a AML num padrão típico dos países desenvolvidos. Em termos futuros, é expectável que a tendência de danos humanos reduzidos e danos materiais elevados se mantenha. Porém, há que ter em consideração a expectável diminuição do número de ocorrências/sinistros em parte do concelho de Lisboa devido ao Plano Geral de Drenagem da cidade, cujas obras devem arrancar em 2020. Apesar das limitações e incertezas inerentes às duas bases de dados, e da consciência de que estas podem avaliar por defeito as consequências das cheias/inundações, os resultados obtidos revelaram uma perspectiva da AML muito pouco conhecida e novos resultados relativos aos danos humanos e materiais.

Tratando-se do mais perigoso dos tipos de inundações considerados nesta dissertação, as cheias rápidas foram escolhidas para proceder à avaliação das componentes do risco. As características específicas das cheias rápidas fizeram com que os dados e métodos utilizados, assim como a discussão teórica referente aos conceitos, fossem direccionados para este tipo de inundações (**capítulo 6**). Como se sabe, a avaliação do risco e das suas componentes devem ser adaptados ao fenómeno natural que se está a investigar, já que as características das cheias rápidas são diferentes das de um movimento de vertente, por exemplo.

Ao entrar nas componentes do risco, abandonou-se a AML enquanto escala de análise e a avaliação passou a ser efectuada à escala da bacia hidrográfica e à escala local. A bacia hidrográfica de Barcarena foi seleccionada pelo seu importante historial de consequências ligadas às cheias rápidas. Embora esta não seja uma das bacias da AML com maior susceptibilidade natural às cheias rápidas, a sua baixa permeabilidade, imposta pelo substrato geológico, solos e áreas edificadas, favorece o incremento da frequência e magnitude destes fenómenos naturais (**capítulo 7**).

A avaliação da susceptibilidade e perigosidade às cheias rápidas configuraram o **capítulo 8**. O modelo de susceptibilidade implementado na bacia de Barcarena combinou a área de drenagem acumulada, a permeabilidade (litologia + ocupação do solo), o declive e o efeito da maré, permitindo validar 89% das ocorrências registadas. Verificou-se que o nível de susceptibilidade se eleva quase sempre nas confluências dos principais afluentes com a ribeira de Barcarena, reflectindo a importância da área de drenagem acumulada.

A ausência de registos hidrométricos na ribeira de Barcarena obrigou a que os caudais de ponta de cheia para vários períodos de retorno fossem obtidos com recurso a hietogramas de projecto. Este processo de modelação hidrológica comprovou a influência das condições antecedentes de humidade (AMC) no incremento dos caudais de ponta, estimando-se um acréscimo de 49,27 m³/s entre AMC II e AMC III na desembocadura da bacia.

Os resultados da susceptibilidade às cheias rápidas e da modelação hidrológica identificaram o troço entre a desembocadura da sub-bacia da ribeira de Massamá e a Fábrica da Pólvora como o mais crítico, algo complementado pela presença de vários edifícios expostos. Este foi o troço no qual foi realizada a modelação hidráulica e a avaliação das diversas componentes do risco.

Mesmo com curvas de nível à escala 1:2000 e uma quantidade assinalável de pontos cotados, esperava-se que o MDS (Modelo Digital de Superfície) produzido e utilizado na modelação hidráulica representasse de modo mais fidedigno o terreno modelado. Tal está relacionado com a distribuição, muitas vezes, deficiente dos pontos cotados naquela área e com a ausência de alguns elementos presentes no terreno. A informação altimétrica detalhada é indispensável para a construção do MDS, mas nem sempre garante a representação ideal do território, acabando por afectar os resultados da modelação hidráulica. Os erros e limitações associados ao MDS poderiam ser reduzidos com recurso à tecnologia LiDAR, não disponível em Portugal. Apesar de algumas incertezas associadas ao MDS e ao próprio *HEC-RAS/HEC-GeoRAS*, os resultados obtidos são, na sua globalidade, adequados à realidade conhecida para o troço modelado da bacia de Barcarena e coincidentes com os elementos utilizados para a sua validação.

As características naturais da bacia de Barcarena, nomeadamente a sua dimensão e as características dos fundos de vale e canais fluviais, impõem uma extensão reduzida das suas áreas inundáveis. Em alguns sectores, as ribeiras de Barcarena e de Massamá não chegam a extravasar o canal fluvial, mesmo para eventos de cheia com magnitude muito elevada. A transição entre 20 e 50 anos é, provavelmente, a mais importante, pois o aumento dos valores de precipitação resulta num acréscimo importante da superfície inundada. Por sua vez, a extensão inundada não aumenta de modo tão notório na transição para o período de retorno de 100 anos. Estima-se que quase todos os sectores afectados pelo transbordo das ribeiras de Barcarena e Massamá também já seriam afectados para 50 anos. No entanto, o incremento da precipitação entre de 50 para 100 anos irá traduzir-se inevitavelmente num maior volume de água e em aumentos globais da altura e velocidade do escoamento, algo que se pode revelar decisivo nas consequências causadas pelas cheias.

Com o incremento do período de retorno, a altura de água e a velocidade do escoamento tendem a aumentar de modo progressivo e linear. Por outro lado, nos sectores do canal fluvial com menor inclinação e a montante de confluências, obstáculos e estreitamentos existem aumentos na área inundável e na altura de água, acompanhados pela perda na velocidade do escoamento. Já nos sectores com maior declive e a jusante dos obstáculos/estreitamentos, atingem-se as maiores velocidades e assiste-se à redução da extensão da área inundável e da altura de água, em comparação com o que sucede a montante. A presença de um obstáculo (natural ou antrópico) implica uma menor capacidade de vazão, originando a acumulação de escoamento a montante, a

subida do nível da água e a desaceleração do escoamento. Quando esse obstáculo é ultrapassado, a velocidade do escoamento imediatamente dispara, não permitindo a acumulação de água. Assim, em locais com alturas de água muito elevadas as velocidades tendem a ser baixas e vice-versa.

A perigosidade às cheias rápidas resultou do produto entre a altura de água e a velocidade, as duas componentes mais relevantes nas consequências causadas por este fenómeno natural. Como é normal, a perigosidade é maior ao longo dos canais fluviais, dado que é aí que se atingem as alturas de água e velocidades mais elevadas. À medida que a distância ao canal fluvial aumenta, a perigosidade decresce, porque a altura de água e a velocidade nos leitos de cheia são sempre inferiores.

Definidas as áreas inundáveis no troço modelado da ribeira de Barcarena, foi necessário considerar a ocupação humana do território (**capítulo 9**). Foram identificados 26 edifícios expostos a eventos com períodos de retorno de 50 ou 100 anos, repartidos por quatro áreas: área industrial do Bico, Lugar do Bico, Fábrica da Pólvora norte e Fábrica da Pólvora sul. Metade dos edifícios expostos estão actualmente abandonados. O encerramento da Fábrica da Pólvora em 1988 e a frequência com que são afectados pelas cheias das ribeiras de Barcarena e de Massamá justificam o abandono de muitos edifícios naquela área. Dos 11 edifícios expostos a eventos frequentes (2 anos), ainda subsistem três ocupados. Os factos enunciados demonstram que o problema das cheias rápidas na AML, apesar de já não ser tão gravoso como há algumas décadas, está longe de estar resolvido.

A exposição de um edifício, enquanto elemento social (utilizado por pessoas) e não apenas estrutural, pode variar. O mesmo edifício pode ter um grau de exposição nulo/reduzido ou muito elevado em momentos distintos do dia ou da semana, dependendo da forma como é ocupado e utilizado. Por norma, o número de pessoas presentes nos edifícios habitacionais é superior no período nocturno e aos fins-de-semana do que nos dias úteis durante o período laboral.

A vulnerabilidade foi apenas analisada do ponto de vista estrutural, sendo avaliada com recurso a uma metodologia com base em indicadores. A selecção das variáveis mais apropriadas, a ponderação da sua importância, a sua combinação, a disponibilidade de dados e a validação dos resultados configuram as principais dificuldades e incertezas quando se recorre a este tipo de metodologias. Normalmente, estas são mais utilizadas na dimensão socioeconómica, todavia, a inexistência de dados empíricos sobre os danos e a possibilidade de considerar as características dos edifícios expostos na avaliação da vulnerabilidade legitimam a sua escolha. Os indicadores, categorias e ponderações/scores utilizados devem ser adaptados ao fenómeno natural estudado e ao contexto geográfico.

A vulnerabilidade estrutural às cheias rápidas deve considerar as características físicas/estruturais dos edifícios (propensão para sofrer danos) e as características do escoamento (potencial para gerar danos). Foi definido um índice de vulnerabilidade estrutural (IVE), calculado

para os edifícios expostos ocupados, que resultou da combinação entre a sua vulnerabilidade intrínseca (VI) e a forma como estes são afectados pela magnitude do processo natural (MPN).

A VI considera a estrutura e materiais de construção, a condição e estado de conservação, as entradas expostas, a idade e o número de pisos. Os resultados apontaram os edifícios (habitação) do Lugar do Bico como os mais vulneráveis (intrinsecamente) às cheias rápidas pela inexistência de estruturas de betão, deficientes condições e estado de conservação e existência de entradas expostas do lado do curso de água.

A MPN considera a porção afectada do edifício, a altura de água e a velocidade do escoamento e foi obtida para vários períodos de retorno. Embora os valores médios de altura de água e de velocidade nunca superem, respectivamente, os 2 m ou 2 m/s junto aos edifícios expostos, confirma-se que é a partir dos 50 anos que a magnitude das cheias mais se acentua. Para além dos aumentos na altura de água e na velocidade, é nos períodos de retorno mais elevados que a extensão das áreas inundáveis afecta as maiores porções dos edifícios, elevando o potencial das cheias para gerar danos. Não obstante serem intrinsecamente vulneráveis, os edifícios do Lugar do Bico apresentam valores de MPN baixos, ao contrário de alguns localizados na área industrial do Bico e na Fábrica da Pólvora sul, sectores onde as cheias atingem maior intensidade.

Os resultados do IVE indicaram que o edifício mais vulnerável às cheias rápidas se situa na área industrial do Bico, confirmando-se a importância das características dos elementos expostos e do processo natural. Por mais vulnerável que seja um edifício e por maior propensão que tenha para ser danificado, se este for pouco afectado por um fenómeno natural, os danos serão pouco significativos.

Num conjunto de edifícios expostos, aquele que tiver o IVE mais elevado pode não registar os maiores prejuízos, uma vez que os danos (€) dependem do seu valor económico (VE). Os danos potenciais (DP) resultaram do produto entre o IVE e o VE. Os 13 edifícios expostos ocupados totalizaram um VE de 971.044 €, enquanto os DP totais foram estimados em 76.287 € para o período de retorno de 2 anos e em 448.051 € para 100 anos. Como seria expectável, os DP mais elevados (108.719 € para 50 e 100 anos) foram estimados para o edifício com maior dimensão (área industrial do Bico). Anulando o efeito da área, estimou-se que os DP mais altos pertençam ao único edifício exposto ocupado no sector da Fábrica da Pólvora sul, atingindo 682 €/m² aos 100 anos. Não foi possível avaliar o risco às cheias rápidas porque não existem dados relativos aos danos (€) causados naquele sector.

Os resultados alcançados ao longo desta tese representam um acréscimo no conhecimento e compreensão das características e dos efeitos dos vários tipos de inundações que afectam a AML. A investigação realizada poderá significar uma mais-valia para o ordenamento do território e ser aplicada na gestão do risco. Se, por um lado, os danos humanos causados por inundações na AML

têm decrescido nas últimas décadas, é expectável o incremento dos danos materiais, sobretudo num contexto de alterações climáticas. A implementação de medidas de mitigação e de adaptação justifica-se em locais que são inundados e que sofram prejuízos com frequência, como são os casos das baixas de Sacavém, de Algés e de Setúbal ou de diversos pontos críticos na cidade de Lisboa. A delimitação das áreas inundáveis, a identificação dos edifícios expostos e a determinação da vulnerabilidade às cheias rápidas é também um aspecto fundamental para o ordenamento e gestão do território. No caso da bacia hidrográfica de Barcarena continuam a existir edifícios e populações expostos e cuja vulnerabilidade às cheias rápidas é elevada. Esta investigação permitiu quantificar os danos (humanos e materiais) e identificar sectores/locais problemáticos no que às cheias e inundações diz respeito em diferentes contextos da AML.

A aplicação em outros contextos geográficos das metodologias desenvolvidas ao longo desta dissertação deve ser efectuada com os devidos cuidados, avaliando se se trata da melhor opção face às particularidades de cada área de estudo e efectuando os ajustes necessários.

Para terminar, a AML é um território ainda com muito por explorar e investigar no âmbito das cheias e inundações. No caso particular das inundações urbanas, sendo o tipo de inundações que mais frequentemente afecta esta região, é possível olhar para o passado, para o presente e para o futuro. Seria, por certo, interessante cartografar a evolução das áreas edificadas e da canalização subterrânea das linhas de água, relacionando estes dois aspectos com a distribuição espacial das ocorrências DISASTER em diferentes momentos do século XX. Outra perspectiva poderia passar pela ilustração das linhas de água quando estas ainda se encontravam à superfície na cidade de Lisboa, comparando a localização das ocorrências e os efeitos das antigas cheias rápidas com o que se passa actualmente com as FREN. A modelação hidráulica e a avaliação da susceptibilidade às FREN e às FUNN poderiam também gerar resultados importantes no âmbito do ordenamento do território, algo que poderia ser realizado desde a escala do concelho à escala da rua. Nesta óptica, poderiam ser projectados diferentes cenários de evolução das áreas edificadas, de influência de eventuais obras estruturais ou de incremento da magnitude das precipitações e inundações.

No caso das cheias rápidas, poderiam ser elaborados estudos semelhantes ao efectuado para a bacia hidrográfica de Barcarena noutras bacias com elevada susceptibilidade, exposição e/ou vulnerabilidade. Numa visão mais operacional, poderia apostar-se na calibração dos parâmetros utilizados no *HEC-RAS*, na adopção de outros programas de modelação mais avançados e na comparação de resultados obtidos em diferentes programas. A eventual existência/disponibilização de dados LiDAR poderia igualmente produzir melhorias nos resultados obtidos. Por último, a modelação hidráulica e delimitação das áreas inundáveis no sector jusante das bacias hidrográficas, incluindo a influência da preia-mar e de episódios de *storm surge* em situações de cheias rápidas, seria um acréscimo importante na qualidade dos resultados.

ANEXOS

ANEXO 1

Subtipos de solos na bacia de Barcarena e respectivo tipo hidrológico de solo (SCS)

Código	Tipo de solo	Tipo hidrológico de solo
Aa	Aluviossolos modernos, não calcários, de textura pesada	D
Aac	Aluviossolos modernos, calcários, para-solos calcários, de textura pesada	D
Ac	Aluviossolos modernos, calcários, para-solos calcários, de textura mediana	B
Al	Aluviossolos modernos, não calcários, de textura ligeira	A
Arb	Afloramento rochoso de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas básicas afins	D
Asoc	Áreas sociais	D
Cal	Solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-aluviossolos ou para-coluviossolos, de aluviões ou coluviais de textura ligeira	A
Cb	Barros castanho-avermelhados, não calcários, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas	D
Cbc	Barros castanho-avermelhados, calcários, não descarbonatados, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associados a calcário friável	D
Klb	Solos mólicos - castanozemes, não argiluvitados, rendziniformes, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas básicas	D
Lb	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de basaltos, doleritos ou outras rochas eruptivas básicas	D
Lpt	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, pardos de arenitos finos e grosseiros inter-estratificados	A
Paco	Solos argiluvitados pouco insaturados – solos mediterrâneos, pardos, de materiais calcários, para-barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários (de textura franco-argilosa a argilosa)	D
Pao	Solos argiluvitados pouco insaturados – solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos	D
Pato	Solos argiluvitados pouco insaturados – solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de arenitos finos, argilas ou argilitos	D
Pcdc	Solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-litossolos, de outros calcários compactos	B
Pcs	Solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de margas ou materiais afins	D
Pcs'	Solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-barros, de margas ou materiais afins	D
Pcsd	Solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de margas e calcários compactos inter-estratificados	B
Pcst	Solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de margas e arenitos finos inter-estratificados	B
Sb	Solos de baixas (coluviossolos), não calcários, de textura mediana	B ou C*
Sba	Solos de baixas (coluviossolos), não calcários, de textura pesada	D
Sbac	Solos de baixas (coluviossolos, calcários, para-solos calcários, de textura pesada	D
Sbc	Solos de baixas (coluviossolos), calcários, para-solos calcários, de textura mediana	B
Sbl	Solos de baixas (coluviossolos), não calcários, de textura ligeira	A
Spc'	Solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-barros, de materiais coluviados de solos calcários	D
Vcd	Solos argiluvitados pouco insaturados – solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de calcários compactos ou dolomias	D
Vcd'	Solos argiluvitados pouco insaturados – solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, para-barros, de calcários compactos ou dolomias	D
Vcdc	Solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, para-litossolos, de calcários compactos associados a calcários brandos	B
Vcdt	Solos argiluvitados pouco insaturados – solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de calcários gresosos ou arenitos calcários	B
Vt	Solos litólicos, não Húmicos, pouco insaturados, normais, de arenitos grosseiros	A
Vto	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, avermelhados, de arenitos finos micáceos (de textura franco-arenosa a franca)	A

* Tendo em conta que a textura mediana pode incluir os tipos hidrológicos B e C, e que se trata de coluviossolos resultantes de coluviões, a sua determinação é feita com base nas características das rochas existentes nas vertentes.

ANEXO 2

Valores de precipitação utilizados na construção dos hietogramas de projecto para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos com duração igual à do tempo de concentração da bacia hidrográfica de Barcarena

Tempo (min)	Precipitação (mm)					
	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
10	0,293	0,394	0,458	0,521	0,595	0,659
20	0,426	0,755	0,992	1,210	1,493	1,709
30	0,441	0,780	1,024	1,249	1,540	1,761
40	0,458	0,808	1,042	1,292	1,591	1,819
50	0,477	0,838	1,080	1,339	1,648	1,883
60	0,499	0,872	1,122	1,392	1,711	1,955
70	0,522	0,910	1,169	1,451	1,783	2,035
80	0,550	0,953	1,222	1,519	1,864	2,126
90	0,581	1,003	1,284	1,597	1,940	2,231
100	0,618	1,060	1,355	1,648	2,009	2,353
110	0,661	1,128	1,439	1,739	2,127	2,499
120	0,714	1,210	1,540	1,858	2,270	2,675
130	0,780	1,312	1,664	2,005	2,445	2,781
140	0,866	1,443	1,824	2,193	2,667	3,028
150	0,982	1,619	2,039	2,443	2,965	3,361
160	1,153	1,874	2,348	2,804	3,392	3,837
170	1,437	2,291	2,850	3,388	4,080	4,604
180	2,836	3,872	4,561	5,275	6,156	6,787
190	7,825	10,953	13,036	14,989	17,588	19,495
200	2,901	3,937	4,636	5,327	6,189	6,935
210	1,671	2,630	3,256	3,857	4,631	5,216
220	1,274	2,053	2,564	3,055	3,688	4,168
230	1,059	1,733	2,177	2,605	3,157	3,575
240	0,919	1,524	1,923	2,308	2,804	3,181
250	0,820	1,373	1,739	2,093	2,549	2,895
260	0,745	1,258	1,599	1,928	2,352	2,778
270	0,686	1,167	1,487	1,796	2,195	2,582
280	0,638	1,093	1,395	1,688	2,066	2,423
290	0,599	1,030	1,318	1,640	1,957	2,290
300	0,565	0,977	1,252	1,556	1,909	2,177
310	0,536	0,931	1,195	1,484	1,822	2,079
320	0,510	0,890	1,145	1,420	1,746	1,994
330	0,488	0,854	1,100	1,365	1,679	1,918
340	0,468	0,822	1,060	1,315	1,619	1,850
350	0,450	0,794	1,036	1,270	1,565	1,789
360	0,434	0,767	1,008	1,229	1,516	1,734
370	0,350	0,434	0,977	1,192	1,471	1,684
380	0,287	0,386	0,449	0,510	0,583	0,645

ANEXO 3

Valores de precipitação utilizados na construção dos hietogramas de projecto para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos com duração dupla do tempo de concentração da bacia hidrográfica de Barcarena

Tempo (min)	Precipitação (mm)						Tempo (min)	Precipitação (mm)					
	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos		2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
10	0,175	0,230	0,264	0,298	0,338	0,369	390	2,901	3,937	4,636	5,327	6,189	6,935
20	0,179	0,235	0,270	0,305	0,346	0,377	400	1,671	2,630	3,256	3,857	4,631	5,216
30	0,182	0,240	0,276	0,311	0,353	0,386	410	1,274	2,053	2,564	3,055	3,688	4,168
40	0,186	0,245	0,282	0,318	0,362	0,395	420	1,059	1,733	2,177	2,605	3,157	3,575
50	0,190	0,250	0,289	0,326	0,370	0,404	430	0,919	1,524	1,923	2,308	2,804	3,181
60	0,194	0,256	0,295	0,334	0,379	0,414	440	0,820	1,373	1,739	2,093	2,549	2,895
70	0,198	0,262	0,303	0,342	0,389	0,424	450	0,745	1,258	1,599	1,928	2,352	2,778
80	0,203	0,269	0,310	0,351	0,399	0,435	460	0,686	1,167	1,487	1,796	2,195	2,675
90	0,207	0,276	0,319	0,360	0,410	0,447	470	0,638	1,093	1,395	1,688	2,066	2,499
100	0,212	0,283	0,327	0,370	0,421	0,459	480	0,599	1,030	1,318	1,640	1,957	2,353
110	0,218	0,291	0,336	0,381	0,433	0,472	490	0,565	0,977	1,252	1,556	1,909	2,231
120	0,223	0,299	0,346	0,392	0,446	0,486	500	0,536	0,931	1,195	1,484	1,822	2,126
130	0,229	0,308	0,357	0,404	0,460	0,501	510	0,510	0,890	1,145	1,420	1,746	2,035
140	0,236	0,318	0,368	0,417	0,475	0,517	520	0,488	0,854	1,100	1,365	1,679	1,955
150	0,243	0,328	0,380	0,431	0,492	0,534	530	0,468	0,822	1,060	1,315	1,619	1,883
160	0,250	0,339	0,393	0,446	0,509	0,553	540	0,450	0,794	1,036	1,270	1,565	1,819
170	0,259	0,351	0,407	0,462	0,528	0,573	550	0,434	0,767	1,008	1,229	1,516	1,761
180	0,267	0,364	0,423	0,480	0,548	0,595	560	0,293	0,434	0,977	1,192	1,471	1,709
190	0,277	0,378	0,440	0,499	0,571	0,619	570	0,282	0,386	0,449	0,510	0,583	0,659
200	0,287	0,394	0,458	0,521	0,595	0,645	580	0,272	0,371	0,431	0,490	0,559	0,632
210	0,426	0,755	0,992	1,210	1,493	1,684	590	0,263	0,357	0,415	0,471	0,538	0,607
220	0,441	0,780	1,024	1,249	1,540	1,734	600	0,254	0,345	0,400	0,454	0,518	0,584
230	0,458	0,808	1,042	1,292	1,591	1,789	610	0,247	0,333	0,387	0,438	0,500	0,563
240	0,477	0,838	1,080	1,339	1,648	1,850	620	0,239	0,323	0,374	0,424	0,483	0,544
250	0,499	0,872	1,122	1,392	1,711	1,918	630	0,233	0,313	0,362	0,410	0,468	0,526
260	0,522	0,910	1,169	1,451	1,783	1,994	640	0,226	0,304	0,351	0,398	0,453	0,509
270	0,550	0,953	1,222	1,519	1,864	2,079	650	0,221	0,295	0,341	0,386	0,440	0,493
280	0,581	1,003	1,284	1,597	1,940	2,177	660	0,215	0,287	0,332	0,375	0,427	0,479
290	0,618	1,060	1,355	1,648	2,009	2,290	670	0,210	0,279	0,323	0,365	0,415	0,465
300	0,661	1,128	1,439	1,739	2,127	2,423	680	0,205	0,272	0,314	0,355	0,404	0,453
310	0,714	1,210	1,540	1,858	2,270	2,582	690	0,200	0,266	0,306	0,346	0,394	0,441
320	0,780	1,312	1,664	2,005	2,445	2,781	700	0,196	0,259	0,299	0,338	0,384	0,429
330	0,866	1,443	1,824	2,193	2,667	3,028	710	0,192	0,253	0,292	0,330	0,375	0,419
340	0,982	1,619	2,039	2,443	2,965	3,361	720	0,188	0,248	0,285	0,322	0,366	0,409
350	1,153	1,874	2,348	2,804	3,392	3,837	730	0,184	0,242	0,279	0,315	0,358	0,399
360	1,437	2,291	2,850	3,388	4,080	4,604	740	0,180	0,237	0,273	0,308	0,350	0,390
370	2,836	3,872	4,561	5,275	6,156	6,787	750	0,177	0,232	0,267	0,301	0,342	0,382
380	7,825	10,953	13,036	14,989	17,588	19,495	760	0,174	0,228	0,262	0,295	0,335	0,373

ANEXO 4

Relatos das cheias de 1967 nas ribeiras de Barcarena e Massamá

Excertos do livro *As “gotas de ar frio” que inundaram a Grande Lisboa. Memórias das Cheias de Novembro de 1967. O Concelho de Oeiras* de Ana Paula Teixeira Torres (p. 36 a 38).

“Em Barcarena, a ribeira transbordou, atingindo duramente a fábrica, o bairro e a cooperativa dos seus trabalhadores. Segundo O Século Ilustrado, os portões de ferro da Fábrica da Pólvora foram torcidos como arames, duas fontes foram destruídas, deu-se o aluimento de muralhas de protecção e registou-se a queda de dois eucaliptos que provocaram mais danos ao caírem sobre a oficina de fabrico de rastilhos. Águas e lama arrastaram tudo à sua passagem, fazendo ruir muros de suporte que, por sua vez, atingiam casas, inundando-as também, como aconteceu no caso do Bairro do Pessoal da Fábrica da Pólvora. Muitos automóveis foram arrastados para longe, sendo encontrados em cima de vedações. Houve também mortos a lamentar.

No Bairro do Pessoal da Fábrica da Pólvora, ao pânico das águas e das lamas a invadirem as habitações juntou-se a escuridão da noite com a quebra da corrente eléctrica a partir das 23 h e durante várias horas. Muitos moradores foram recolhidos em casas de vizinhos ou agrupados em dependências daquele edifício.

Também no Lugar do Bico, todas as residências sofreram danos, ficando inabitáveis e perdendo, os seus moradores, quase total dos seus pertences.”

Excerto do relato de Fernando Silva, fundador do jornal *A voz de Tercena*

(<http://fernandosilva-blogspotcom-joaosilva.blogspot.com/2011/03/>)

“Naquele dia, a chuva caiu intensamente, facto que não foi valorizado na medida em que, Novembro era, habitualmente, o mês da chuva, e como tal, ninguém esperava o que viria a suceder ao final daquele dia.

Na realidade a intensidade manteve-se, enchendo por completo as ribeiras que atingiram rapidamente o seu limite máximo, transbordando mesmo de forma assustadora.

A noite caiu rapidamente e as pessoas mal viam os caminhos, quanto mais o nível das águas, pois só se ouvia o barulho ensurdecedor das águas enlameadas em turbilhão rumo ao mar.

Os alarmes começaram a surgir ao final da tarde, no Lugar do Bico, pois o pequeno bloco habitacional, com pouco mais de trinta pessoas, começava a ficar verdadeiramente transformado, com as pessoas assustadas, pois as águas já chegavam às casas, com algumas mesmo a ficarem totalmente inundadas.

A solidariedade das pessoas fez-se sentir de imediato e da povoação de Tercena, começou a chegar gente, para ajudar todos aqueles que se sentiam em perigo, acartando alguns bens para lugares seguros, pois as águas ameaçavam grandemente.

No Bico passam dois ribeiros, o que vem de Almornos e desagua em Caxias e o que se inicia em Massamá, passando pela povoação de Tercena, sendo pois um afluente da ribeira de Barcarena, desaguando precisamente naquele lugar.

Eram precisamente essas águas que invadiam as casas do lugar, uma vez que a fortaleza do ribeiro não permitia escoar facilmente essas águas, que vinham de Tercena, e as pessoas, ficaram preocupadas, pois já tinham entrado em algumas habitações.

Foi nessa altura que se percebeu a grandiosidade da tragédia, mas sem se vislumbrar os seus verdadeiros resultados, pois por todo o lado as rádios anunciavam as cheias, com estragos em todos os pontos da periferia da capital.

A noite estava cerrada e as pessoas ficaram sem luz eléctrica o que agravava ainda mais a caótica situação.

De Tercena, vinha agora a triste notícia que o ribeiro que passava junto às Fontainhas, proveniente das águas que escoavam das terras do Moinho Encarnado e Queluz de Baixo sul, estavam a pôr em perigo as habitações marginais, quase junto à Fábrica da Pólvora, onde viviam algumas famílias com casas alugadas à Maria Pinto.

Morava nelas uma família carenciada, marcada pelo infortúnio da vida, cuja senhora, vivia com a filha mais nova, conhecida por “Lé-Lé”, que residira anteriormente no casal da Serra, conhecido pelo Casal de S. Miguel da Serra.

Com a extinção daquele bairro, aquela família, composta por mãe e filha, a Sofia, arranjara uma pequena barraca junto ao muro, na propriedade da Maria Pinto a pouco mais de um metro do leito do riacho, que raramente enchia e não havia memória de alguma vez ter transbordado, só que naquele dia ameaçava tal.

Entretanto, no Lugar do Bico trabalhava-se arduamente, para salvar os poucos haveres daquelas famílias, ignorando-se que em outros pontos da freguesia se passava o mesmo drama e os bombeiros não tinham mãos a medir, pois as chuvadas caídas o dia inteiro estavam agora a produzir os seus nefastos efeitos.

No bairro da Fábrica da Pólvora, a ponte de ferro tinha sido destroçada e levada pela fúria das águas, e a taberna da Perreirinha, mesmo à beira do ribeiro, tinha sido arrancada pela raiz e levada pela fúria das águas.

Momentos antes, voluntários tinham salvo um trabalhador, o “Alegria”, que na sua barraca já tinha água pelo pescoço e já não conseguia sair pela porta.

Teve de ser salvo pelo telhado, e puxado para cima, por três homens que se lembraram que ele deveria estar em perigo, pois sabiam que ele momentos antes tinha ido para casa.

E nesta labuta, e consecutivas informações vindas daqui e de acolá, chegou a triste notícia de que, a filha da Maria Pinto, a Carolina, moradora nas Fontaínhas tinha desaparecido e engolida pela águas, causando um pânico elevado, com a convergência de parte da população de Tercena a tentar saber a verdade e a fazer algo que minimizasse a dor da família.

Entretanto, neste amontoado de pessoas que rodeavam a estrada, junto da sua casa, uma sua vizinha, a filha da “Lé Lé”, precisamente a Sofia, que se retirara de sua casa, na companhia de sua mãe por as águas já terem galgado a margem e ameaçavam entrar na sua barraca, lembrou-se repentinamente que tinha deixado lá o seu rádio e precisava dele para ouvir as notícias de tão grande tragédia.

Aconselhada a não regressar a sua casa, por se tornar perigoso devido a escuridão da noite, a rapariga movida pela sua juventude partiu alvoraçada mas a verdade é que jamais voltara, porque, segundo se verificou depois, a casa já não estava lá, e o ribeiro agora alargara o seu leito, até à muralha que dava para a estrada.

A Sofia tinha sido igualmente engolida pelas águas em fúria, tal qual acontecera com a sua vizinha, Carolina.

O pânico e o alarido ainda mais aumentara e a dor era agora comum a todos que ali se encontravam, pois a rapariga já estava a salvo e aquela sua macabra ideia, levava-a infelizmente à morte.

No Bico, o drama continuava, mas não se registavam vítimas, contudo o Filinto Silva, que tinha ido em socorro do seu primo João Trajano, sabedor que a sua casa e haveres estavam em perigo, numa das manobras de transporte de haveres para um barracão junto à estrada que não corria perigo, desviara-se do normal trajecto, devido à falta de luz no local e ficara entalado num buraco onde as águas corriam com furor.

Assustado, e em risco de ser levado pela forte corrente, começou a gritar e alguém por perto, ouvindo os seus aflitos gritos, pressentiu o ponto onde ele se encontrava, esticou-lhe o chapéu de chuva que portava, que por sorte se agarrou a ele, e puxado com todas as forças que aquele pobre ser possuía, o Filinto pode salvar-se de morte certa.

A grande verdade é que o Filinto voltou a piso seguro e jamais conseguiu saber de quem tinha sido o milagroso golpe de astúcia daquele homem que o salvara de morrer afogado, porque o breu da noite não permitira descortiná-lo, nem este se inteirara de quem salvara, por estar aflito com a situação que ameaçava ainda mais perigo.

A noite fora passada nesta grande labuta e pânico, porque as más notícias começavam a surgir, com algumas famílias do Bico a serem mudadas para casas particulares do lugar, onde acabaram por pernoitar, porque nas suas corriam bastante perigo.

Quando o novo dia apareceu, as águas já estavam mais calmas e foi quando toda a gente se inteirou da grande tragédia ocorrida naquele fatídico dia 25 de Novembro de 1967, que causara centenas de mortos por todos os lugares da área metropolitana de Lisboa, com a novidade de, em S. Marcos, ter sido engolido igualmente pelas águas um velhote bastante conhecido, o “Ti Ramicho”, pois ao passar a pequena ribeira de noite, vindo da colectividade, jamais pensou que a mesma levasse tanta água e acabou por ser surpreendido pela sua força e arrastado até à morte, até à Fábrica da Pólvora, numa distância de mais de dois quilómetros, onde o seu corpo fora encontrado.

As duas raparigas, curiosamente, vizinhas há alguns anos, foram encontradas sem vida, no Murganhal, a escassos metros uma da outra, pois quis o destino que acabassem por parar da louca correria, empurradas pelo furor das águas depois de terem passado por uma manilha com pouco mais de sessenta centímetros de diâmetro, juntas, pois também na morte acabaram por ser vizinhas.”

Cheias atornamentam Lugar do Bico

Famílias afectadas continuam à espera de mudar para futura urbanização de Tercena



Custódio Gonçalves lamenta que o anunciado realojamento em Tercena continue no reino das promessas

Dois troncos de árvore caíram à ribeira de Tercena, alegadamente ainda em território de Massamá, contornaram boa parte do quarteirão de casas que compõe o Lugar do Bico sem ficarem presos em lado algum, até que, por fim, se que- daram quase em frente à porta de Custódio e Margarida Gonçalves, casal de 72 anos que ali mora há décadas. Acto contínuo, formaram uma espécie de dique que, com ramos e lixo à mistura, fez com que o curso de água, já de si descontrolado pelas chuvas copiosas, transbordasse as margens, derubasse um muro e fosse visitar, sem convite, o interior das habitações existentes mesmo ali ao lado, poucas e más de habitabilidade, mas ainda assim dando guarida a uma mão-cheia de famílias. O acaso, em pequena dose, e a força da natureza, em grande medida, juntaram-se de forma explosiva naquele lugar, vizinho da Fábrica da Pólvora, na manhã do passado dia 2. No imediato, um dos três agregados foi realojado, mas o casal Gonçalves ficou,

como tem ficado desde há anos, à espera do desfecho que lhe vem sendo prometido: ir morar para ali perto, numa urbanização cuja construção há muito está prevista, mas da qual ainda só existe um placar a fazer o seu anúncio.

“Já houve abaixo-assina- dos, já cá vieram a casa fazer as medições todas, a Câmara anda para comprar isto à nossa senhoria, mas parece que o negócio não avança...”, resume Custódio Gonçalves, lembrando a reportagem televisiva sobre as cheias de Tercena em que o presiden-

da enorme, de repente...”, re- corda o morador. Dessa vez, a água “levantou o chão todo, que era de tacos de madeira, e depois não conseguia sair de casa”. Entretanto, o piso foi alterado para mosaico, um filho do casal fez um bom portão de ferro para servir de porta pelo que, desta feita, a massa líquida teve mais dificuldade em causar estragos. Feito o balanço, lastimou-se pouco mais do que a humidade em excesso e o muito trabalho para normalizar o lar onde, por outro lado, as imagens de santos diversos e até uma ferradura

Acaso e força da natureza provocam mistura explosiva

te da Câmara, Isaltino Morais, reconhece que estas famílias já nem sequer deveriam estar naquele local...

Mas, como ainda estavam, lá levaram com a enxurrada de água. Mais uma. “Há três ou quatro anos, aconteceu em final de Agosto, uma trovoa-

pendurada à entrada, terão dado o seu contributo benéfico.

Sorte, sorte, todavia, seria irem-se dali para fora. Mas para perto, que Custódio quer continuar a andar por ali a pescar “peixes bons, até com meio quilo” como vem fazendo quando não há descargas de esgotos “vindos lá dos lados do concelho de Sintra”. Para perto, exige também Margarida, porque tem toda a família em Tercena. E porque, afinal, já mora ali desde o 25 de Abril de 1974, vinda, como o marido, do distrito de Viseu. “O que sei é que temos aguentado muito”, concordam os dois idosos que, à margem da estreita ribeira que vem de Massamá (contigua à mais larga que vem do Cacém), ouvindo o constante ru- morejar das águas e suportando os seus humores, criaram nada menos do que seis filhos, sendo já avós de 10 netos.

O JR tentou saber, junto da Câmara de Oeiras, o ponto de situação sobre a Urbanização de Tercena, assim como do futuro dos moradores do Lugar do Bico, mas não foi possível, até ao fecho da edição, obter a informação desejada.



Jorge A. Ferreira